

Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías
Industriales
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Posibilidad real, con análisis
costes/beneficios, de incluir un
sistema automático de detección y
extinción de incendios en turismos”

Lorenzo Barrio Rodríguez

Tutor/es

José Manuel Prieto Barrio

Leganés, 2019



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es analizar si la inclusión de un sistema automático de detección y extinción de incendios en los turismos que actúe tras una colisión o vuelco sería viable técnica y económicamente. Analizando cual sería el impacto de legislar para hacer obligatorio la inclusión del sistema en todos los turismos.

Para hacer el análisis se estudiará la literatura y estadísticas existentes para poder así dimensionar esta problemática. Se hará hincapié en la regulación actual sobre los sistemas de protección contra incendios, y sobre la regulación que aplicaría a un sistema aplicado a los turismos. Y cuál es la jerarquía y las instituciones que legislan en esta materia en España.

Tras el análisis de los datos estadísticos se concluye que la mayoría de las víctimas de incendio en turismos se produjeron tras la colisión o vuelco del turismo. La mayoría de los datos reflejan que las víctimas estaban inconscientes o no tenían la capacidad de huir. Un alto porcentaje de los incendios se originaba en el compartimento del motor y el habitáculo de pasajeros. En Suecia las cifras de fallecidos en este tipo de accidentes representaban el 5% del total de las muertes en accidentes de tráfico.

Una vez que se han analizado los datos de causa, lugar de origen, tipo de fuego etc., se plantea el sistema adecuado. El sistema planteado es un sistema que detecta y extingue incendios producidos tras la colisión de un turismo de combustión aprovechando sensores ya existentes (airbag), y utilizando nuevos (detección de incendios), cuyo fin último es evitar daños personales. También se analiza brevemente la situación de los vehículos eléctricos e híbridos y sus particularidades en relación con la protección frente a incendios.

El estudio de la literatura, de la regulación existente y del estado del arte de las tecnologías de extinción nos ha llevado a la conclusión de que se debería diseñar un sistema de aplicación tanto en el compartimento del motor como en el habitáculo de pasajeros. Cuyo agente extintor sea el agua utilizando la técnica de extinción del agua nebulizada. Debido a que esta técnica es adecuada para el tipo de incendios que se pueden dar en un vehículo según la normativa y a su compatibilidad con los ocupantes del vehículo (no es tóxica, mantiene una concentración adecuada de oxígeno, etc.). Este sistema sería viable técnicamente.

Finalmente, se analiza el impacto económico que podría tener esta solución en Suecia. El impacto obtenido para la inclusión de este sistema en todos los turismos nuevos es negativo.

Palabras clave

Turismos; Incendios; Automóviles; Detección; Extinción; Agua; Nebulizada; Accidentes

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo.....	2
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Evolución histórica de la protección contra incendios	3
2.2. Protección contra incendios en los vehículos.....	4
2.2.1. Reglamento n.o 107 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE)	5
3. MARCO REGULADOR ACTUAL	7
3.1. Automóviles	8
3.2. Sistema de detección y extinción	8
3.2.1. Detectores.....	9
3.2.2. Normativa agua nebulizada	9
3.2.3. Normativa polvo (baterías coches híbridos y eléctricos)	9
3.3. Propiedad intelectual	10
4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	11
4.1. Mortalidad y lesiones	11
4.1.1. Datos disponibles de la problemática en España.....	11
4.1.2. Datos de Suecia	12
4.1.3. Informes EE.UU.....	13
4.2. Evolución del problema	17
4.3. ¿Dónde se producen los incendios?.....	19
4.4. Fuego, humo y materiales	23
4.4.1. Normativa actual sobre comportamiento materiales frente al fuego en vehículos de motor	23
4.4.2. Materiales de los vehículos	24
4.4.3. Productos del incendio	25
5. ESTADO DE LA TÉCNICA	28
5.1. Clases de fuego.....	28
5.2. Métodos de extinción	30
5.2.1. Eliminación	30
5.2.2. Sofocación.....	30
5.2.3. Enfriamiento.....	30
5.2.4. Inhibición	31

5.3.	Agentes de extinción	31
5.3.1.	Hidrocarburos halogenados	32
5.3.2.	Alternativas a los halones.....	33
5.3.3.	Gases inertes.....	34
5.3.4.	Anhídrido carbónico (CO ₂).....	35
5.3.5.	Espuma física	35
5.3.6.	Polvo ABC (Polivalente).....	36
5.3.7.	Polvos especiales para incendios clase D.....	36
5.3.8.	Agua nebulizada (water mist).....	37
5.4.	Sensores.....	38
5.4.1.	Detectores de calor	40
5.4.2.	Detectores de humo	41
5.4.3.	Detectores de gas.....	43
5.4.4.	Detectores de llama	43
6.	SOLUCIÓN.....	44
6.1.	Agente extintor elegido	44
6.1.1.	Características de sistema de agua nebulizada	46
6.2.	Descripción del sistema de EXTINCIÓN	47
6.2.1.	Características del sistema para un turismo estándar	49
6.2.2.	Pérdidas de carga.....	54
6.3.	Sistema de DETECCIÓN	57
6.3.1.	Compartimento del motor / baterías	57
6.3.2.	Habitáculo de pasajeros.....	58
6.4.	Descripción del sistema y su funcionamiento	59
6.4.1.	Sistema de detección	59
6.4.2.	Sistema de extinción.....	60
6.4.3.	Esquema de funcionamiento del sistema.....	61
7.	PRESUPUESTO	62
7.1.	Estimación del coste del sistema	62
7.2.	Plan de mantenimiento del sistema	62
7.3.	Presupuesto del TFG	63
7.3.1.	Planificación TFG	63
7.3.2.	Costes TFG.....	64
8.	ENTORNO SOCIOECONÓMICO.....	65
8.1.	Análisis coste/beneficio sobre los datos de Suecia	65
8.2.	Otras consideraciones.....	68
8.3.	La importancia de la industria automovilística en España	70

9.	CONCLUSIÓN	71
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Bomba de Ctesibio. [2]	3
Figura 2.2. Primer rociador patentado por Henry S. Parmelee. [3].....	4
Figura 2.3. Boquillas de extinción en la cabina de pasajeros. [5]	5
Figura 2.4. Tragedia autobús escolar en Italia (2017). [7]	6
Figura 3.1. Esquema de la jerarquía de la regulación de automóviles en España.	8
Figura 4.1. Fallecidos en incendio en vehículos 2011-2017 en España. [9]-[14]	11
Figura 4.2. Número de muertes en incendios en turismos (Nc) y número total de muertes en accidentes de tráfico (Ntot) [15].....	12
Figura 4.3. Heridos en incendios de vehículos de carretera por causa del incendio (colisión/ vuelco o no-colisión) y actividad del herido cuando se produjo la lesión. Media 2002-2005 [16]	15
Figura 4.4. Estructura de la carrocería de un turismo estándar [19].....	18
Figura 4.5. Porcentajes de incendios en vehículos en función de la energía absorbida en el impacto [18]	18
Figura 4.6. Zona origen del incendio en función de la causa del incendio 2002-2005. [16]	20
Figura 4.7. Separación entre el compartimento del motor y el habitáculo (Firewall) [20]	22
Figura 4.8. Compartimento de baterías de un BMW i3 [22].....	23
Figura 4.9. Enlace uretano. [24]	25
Figura 5.1. Triángulo del fuego. [28]	28
Figura 5.2. Tetraedro del fuego.....	29
Figura 5.3. Detectores según el tiempo y la etapa del fuego, fuego latente (<i>smouldering fires</i>) y llama viva (<i>flaming fires</i>). [35]	39
Figura 5.4. Diferentes tipos de detección de incendios. [35]	39
Figura 5.5. Esquema conceptual de un termopar. [38].....	40
Figura 5.6. Principio de funcionamiento de los detectores de humo por ionización. [39]	42
Figura 5.7. Funcionamiento de un detector de humo óptico. [35]	42
Figura 5.8. Funcionamiento de un detector de humo de caída de luz. [35].....	43
Figura 6.1. Boquilla nebulizadora de un sistema de agua nebulizada. [42]	45
Figura 6.2. Actuación del agua nebulizada. [43].....	45
Figura 6.3. Acumulador de un sistema de agua nebulizada. [45].....	48
Figura 6.4. Equipo de bombeo eléctrico para un sistema de agua nebulizada. [45].....	48
Figura 6.5. Sección transversal de un depósito de agente extintor del sistema FOGMAKER, acumulador de pistón. [46].....	48
Figura 6.6. Dimensiones del acumulador de pistón. [49].....	51
Figura 6.7. Influencia del ángulo de spray en la distancia protegida [51].....	54
Figura 6.8. Diagrama de Moody	56
Figura 6.9. Esquema de conexión de un sensor térmico de cable. [52]	58
Figura 6.10. Modelos de cable detector según su temperatura de alarma [53]	58
Figura 6.11. Esquema de funcionamiento del sistema.	61
Figura 7.1. Diagrama de Gantt.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Incendios de vehículos de carretera en EE.UU. por tipo de vehículo. Medias anuales periodo 2002-2005 [16].....	13
Tabla 4.2. Incendios en vehículos de carretera por causa del incendio. Medias anuales 2002-2005. [16]	14
Tabla 4.3. Muertes y heridos en incendios de vehículos de carretera por actividad cuando se produjo la lesión. Media de 2002 a 2005 [16].....	15
Tabla 4.4. Causa principal de muerte o lesión en vehículos de carretera en EEUU. Media de 2002 a 2005 [16]	16
Tabla 4.5. Pérdidas humanas y económicas en incendios de vehículos de carretera (media 2014-2016). [17].....	17
Tabla 4.6. Porcentajes de vehículos incendiados en accidente de tráfico y de víctimas mortales en vehículos incendiados 2002-2014 [18].....	19
Tabla 4.7. Muertes, heridos y daños materiales de incendios tras colisión o vuelco y por zona de origen del incendio. Media anual 2002-2005. [16]	20
Tabla 4.8. Área de origen de los incendios de vehículos de carretera 2014-2016 [17].....	21
Tabla 4.9. Materiales que componen un turismo estándar en % [18]	24
Tabla 4.10. Gases producidos en la combustión/pirólisis de distintos elementos de un automóvil. [25]	26
Tabla 4.11. Comparación de emisiones de distintos gases en incendios de vehículos eléctricos (EV) y de combustión (ICE) [27].....	27
Tabla 5.1. Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego [30]	31
Tabla 5.2. Halones utilizados como agentes extintores [31]	32
Tabla 5.3. Concentraciones de diseño para la extinción y los índices de peligro [32].....	33
Tabla 5.4. Concentración extintora e índices de peligrosidad de gases inertes. [32]	34
Tabla 5.5. Tiempo máximo de exposición a los agentes inertes en función de la concentración de diseño. [32].....	34
Tabla 5.6. Efectos del CO ₂ por concentración y tiempo de exposición. [32]	35
Tabla 5.7. Adecuación de distintas preparaciones de mezclas de polvo (patentadas) para la extinción o control de fuego de metales o sus aleaciones. [34].....	37
Tabla 6.1. Número de gotas, superficie cubierta para cada tamaño de gota por 1 L de agua. [44]	46
Tabla 6.2. Peso (en libras) del acumulador de pistón en función de la cantidad de fluido extintor. [49]	50
Tabla 6.3. Características del acumulador de pistón. [49]	50
Tabla 6.4. Relación entre el tamaño de gota de un sistema de agua nebulizada y la capacidad de refrigeración. [50]	52
Tabla 6.5. Ejemplo de dos formas de spray usadas en la protección contra incendios y el campo de aplicación recomendado por el fabricante. [51]	53
Tabla 6.6. Tabla de características para boquillas nebulizadoras modelo UniJet Tip TN [51] ...	53
Tabla 6.7. Características constructivas de la boquilla nebulizadora [51]	54
Tabla 6.8. Plásticos usados en un coche estándar [18].....	59
Tabla 7.1. Precio (con IVA) sistemas de extinción de incendios instalados en autobuses españoles R-107.	62
Tabla 7.2. Planificación de las tareas del TFG.....	63
Tabla 7.3. Coste de personal del TFG.....	64
Tabla 7.4. Costes de ordenador y software	64

Tabla 7.5. Coste normas consultadas	64
Tabla 7.6. Coste total del TFG	64
Tabla 8.1. Costes, en euros, asociados a los accidentes de tráfico en algunos países europeos. [55]	66
Tabla 8.2. Número de damnificados por accidente de tráfico en la UE según la severidad de este. [55]	66
Tabla 8.3. Beneficios anuales de la implantación del sistema en Suecia	67
Tabla 8.4. Automóviles vendidos en Suecia (2018) [56]	67
Tabla 8.5. Costes de la implementación del sistema en Suecia.....	68
Tabla 8.6. Incendios en vehículos de carretera en EE.UU. por factor que provocó el incendio. Medias anuales periodo 2002-2005. [16]	69

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Es imposible hablar del desarrollo económico y social de nuestra sociedad sin hacer referencia a la movilidad, y es imposible hablar de movilidad sin hablar del automóvil. El automóvil es uno de los motores económicos y sociales de las sociedades industrializadas, y ya prácticamente de todo el mundo.

Buena parte de las actividades diarias de una persona en España están estrechamente relacionadas con el coche. Desde el trabajo hasta las actividades de ocio, lo que se traduce en millones de desplazamientos diarios en turismos. Por ello, los accidentes de tráfico son una de las principales causas de muerte en nuestra sociedad.

Los accidentes de tráfico son uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial según la OMS, siendo en España y el resto de los países desarrollados una de las principales causas de mortalidad, sobre todo entre los jóvenes. En España se registraron 25000 fallecidos y 1,3 millones de heridos en el periodo 2006-2015 según un informe del año 2017 de la Fundación Línea Directa [1].

Sin embargo, la mejora continua de los sistemas de seguridad activa y pasiva de los vehículos, junto a la mejora de las infraestructuras, han ido reduciendo año tras año las cifras de fallecidos y lesionados en accidentes de tráfico.

La importancia de la reducción de estas cifras no solo reside en el impacto social que provocan estas, sino también en su impacto económico. Según el mismo informe de la Fundación Línea Directa el coste de los muertos y lesionados en el periodo 2006-2015 fue cercano al 1% del PIB de España, unos 10000 millones de euros.

De todas estas cifras nace la idea de plantear la introducción de un nuevo sistema de seguridad en los turismos, análogo a los sistemas de detección y extinción de incendios ya existentes en otros vehículos y en edificios, y que se una al resto de sistemas de seguridad pasivos que ya están implantados en los turismos que se fabrican actualmente.

1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es plantear la viabilidad técnica y económica de la inclusión de un sistema automático de detección y extinción de incendios en los turismos.

Primero se dimensionará la problemática de los incendios en turismos tras accidente de tráfico. Esto se hará analizando la literatura disponible sobre este problema. Es imposible hacer un análisis de la viabilidad económica sin conocer cuál es el impacto económico de la problemática.

Posteriormente se expondrán las diferentes soluciones técnicas posibles para un sistema de detección y extinción en los turismos. Se escogerá la más adecuada y se analizará la viabilidad de su inclusión en un turismo (tamaño, peso, etc.).

El objetivo es plantear un sistema automático de detección y extinción de incendios que actúe en caso de incendio del turismo tras un accidente de tráfico. Este sistema usaría sensores propios para la detección del incendio y los sensores del airbag para detectar la colisión o vuelco del vehículo, como ya hacen otros sistemas (p. ej. sistema eCall). El sistema estaría diseñado para actuar en caso de accidente porque, como se expondrá en el capítulo 4, en caso de accidente existe el riesgo de que los ocupantes del vehículo no tengan la capacidad de abandonar el habitáculo. Además, esta doble confirmación de los sensores evitaría disparos fortuitos del sistema que podrían ser peligrosos para los ocupantes del vehículo. Se planteará también la posibilidad de un accionamiento manual del sistema.

Finalmente, se estimará el coste de la introducción de este sistema en los turismos. Y se comprobará si el impacto económico de la introducción del sistema, ahorro de muertes/heridos vs coste de introducción de este sistema para los consumidores, es positivo o negativo.

El objetivo último de este trabajo es dilucidar, tras haber hecho el estudio previo sobre la viabilidad técnica y económica, si sería conveniente legislar para hacer obligatorio un sistema de detección y extinción de incendios en los turismos.

Para ello en el trabajo se seguirán estos pasos:

- Analizar diversos informes para observar cuantas muertes y heridos producen los incendios en automóviles tras colisión o vuelco.
- Analizar, en base a la literatura existente, donde se producen los incendios en un turismo.
- Establecer que materiales de un turismo actúan como combustible.
- Tipo de fuego que se produce en un turismo y productos de este.
- Elegir un agente extintor adecuado al tipo de fuego.
- Selección de detectores de incendio adecuados para el sistema.
- Descripción y cálculos.
- Estimar el coste que podría tener el sistema producido en masa.
- Estimar el potencial ahorro de costes del sistema

2. ANTECEDENTES

2.1. Evolución histórica de la protección contra incendios

El ser humano empezó a usar el fuego hace miles de años y hoy, miles de años después, sigue siendo una parte fundamental de nuestra vida cotidiana. Desde las cocinas de gas, las calderas de calefacción y los motores de combustión de los coches hasta los más modernos procesos industriales. En todos ellos el fuego juega un papel fundamental.

Sin embargo, la relación de la sociedad con el fuego es compleja. El fuego es motor de progreso, pero a su vez, tiene un enorme poder de destrucción. Este hecho ha provocado la evolución a lo largo de la historia de los sistemas y medidas de protección contra incendios.

En la Antigua Roma se crearon primitivos cuerpos de bomberos, los llamados vigiles, cuya función era hacer rondas por las ciudades para detectar e intentar extinguir los grandes incendios que en aquella época asolaban las ciudades. Este cuerpo contaba, por ejemplo, con bombas de Ctesibio-Herón, estas bombas se instalaban en los pozos de la ciudad y permitían extraer agua rápidamente para usarla en las labores de extinción. Esta bomba hidráulica es una primera muestra de la ingeniería aplicada a la extinción de incendios.

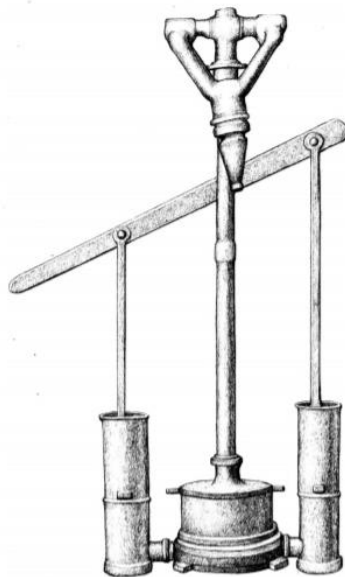


Figura 2.1. Bomba de Ctesibio. [2]

Y fue en 1874 cuando Henry S. Parmelee (EE.UU.) patentó el primer rociador automático. Automático porque el rociador se mantenía cerrado por medio de un resorte de un material con un bajo punto de fusión que en caso de incendio fundía permitiendo la salida del agua. Este principio sigue vigente en los rociadores automáticos actuales, en los que un bulbo, normalmente de vidrio, que se rompe a una determinada temperatura permite la salida del fluido extintor.

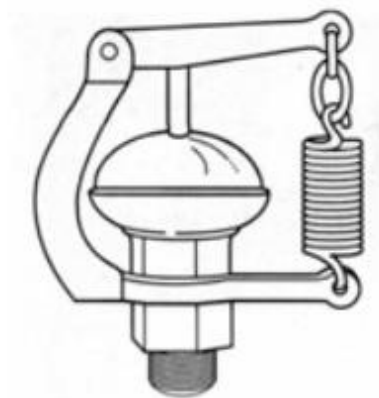


Figura 2.2. Primer rociador patentado por Henry S. Parmelee. [3]

La aplicación de la ingeniería en la protección contra incendios es muy importante, sin embargo, hace falta una normativa clara que regule su aplicación.

Fue en 1974 cuando apareció la primera norma a nivel nacional sobre protección contra incendios, la Norma Tecnológica sobre Instalaciones de Protección contra el Fuego (NTE-IPF).

La evolución de la normativa contra incendios en España está marcada por dos incendios: el incendio del hospital Virgen del Rocío de Sevilla en 1977 en el que, a pesar de no provocar ninguna víctima mortal, se hizo patente la falta de seguridad en materia de incendios en los hospitales; el incendio del hotel Corona de Aragón en Zaragoza en el que fallecieron 76 personas.

Hoy en día las normativas de protección contra incendio españolas van en consonancia con las normativas europeas y son muy extensas. Podríamos distinguir entre las normativas de protección contra incendios enfocadas a la seguridad activa (nº de dispositivos de control, componentes de los sistemas PCI, etc.), estas son el R.D. 513/2017 (Reglamento de instalaciones de protección contra incendios) y el R.D. 2267/2004 (Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales). En cuanto a seguridad pasiva la normativa a seguir es el Código Técnico de la Edificación.

2.2. Protección contra incendios en los vehículos

La protección contra incendios en vehículos es relativamente reciente, dentro del sector del transporte los vehículos que tienen una legislación más estricta y antigua en cuanto a sistemas automáticos de detección y extinción son los aviones. El sector de la aviación es uno de los sectores donde primero se implementaron estos sistemas de detección y extinción de incendios debido a la importancia de la seguridad en este tipo de vehículos. Existen distintos tipos de detectores de incendio dependiendo de la zona del avión y se usan agentes de extinción como los halones, que están prohibidos para uso civil por ser muy dañinos para la capa de ozono, debido a su eficacia de extinción y su limpieza.

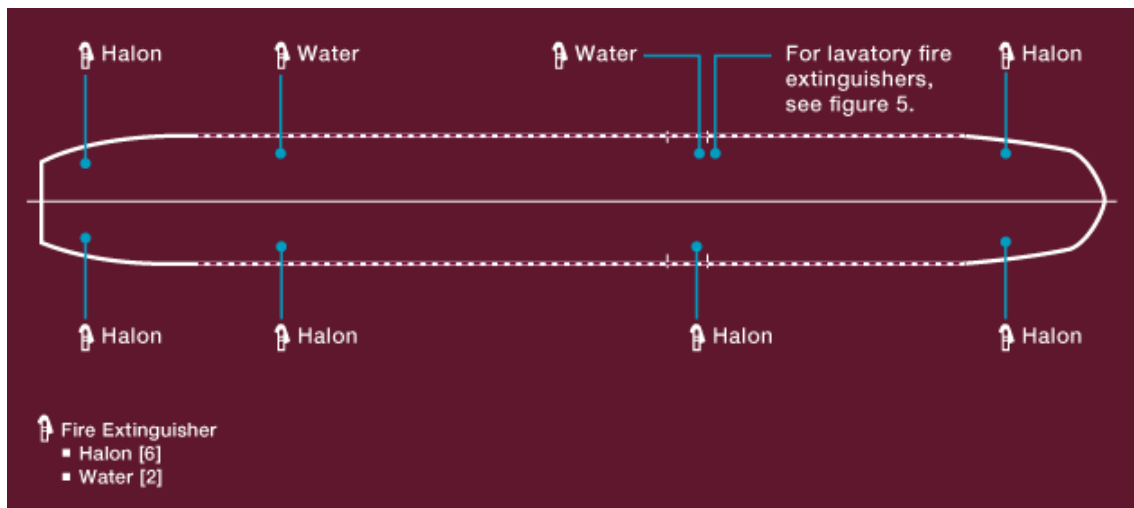


Figura 2.3. Boquillas de extinción en la cabina de pasajeros. [5]

Este trabajo se va a centrar en los automóviles, por ello se estudiarán las soluciones contra incendios que existen en otros vehículos a motor. Este epígrafe se va a centrar en la evolución de la normativa española en cuanto a protección contra incendios en vehículos a motor. Recogida en el Reglamento General de Vehículos (R.D. 2822/1998):

1. Orden de 30 de julio de 1975 por la que se determinan las condiciones técnicas que deben reunir los extintores de incendios para ser instalados en vehículos de transporte de personas o de mercancías. [Disposición derogada]
2. Orden de 27 de julio de 1999 por la que se determinan las condiciones técnicas que deben reunir los extintores de incendios para ser instalados en vehículos de transporte de personas o de mercancías.

Como se observa, la legislación sobre protección de incendios en vehículos a motor comenzó en la Orden del 30 de julio de 1975 que es relativa a extintores portátiles al igual que la Orden de 27 de julio de 1999.

Las normativas contra incendios no han avanzado apenas en los turismos en los últimos años. Sin embargo, recientemente se han introducido cambios y mejoras en cuanto a la protección contra incendios en autobuses en el Reglamento de la CEPE, que se aplica en España. Esto se explicará en profundidad en el capítulo sobre el marco regulador.

2.2.1. Reglamento n.º 107 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE)

Los autobuses al ser vehículos destinados al transporte de un número elevado de pasajeros y evacuación más compleja que en un turismo tienen una reglamentación en materia de incendio más estricta, aunque relativamente reciente.

El ejemplo más claro es este Reglamento 107 de la Comisión Económica Europea de las Naciones Unidas (CEPE) sobre disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de la categoría M2 o M3 por lo que respecta a sus características generales de construcción [2018/237], en el que se obliga a los autobuses, distinguiendo entre clase I, II y III, a equipar sistemas de alarma de exceso de temperatura en la zona del motor **para motores de combustión** situados en la parte trasera.

Y, en lo que concierne a este trabajo, la inclusión de un sistema automático de extinción de incendios:

- Obligatorio para nuevos tipos de Autobuses Clase III, desde 10/06/2018 (R-107.06)
- Obligatorio para todos los Autobuses clase III que se matriculen a partir de 10/06/2019
- Obligatorio para nuevos tipos de Autobuses clase I y II desde 01/09/2020
- Obligatorio para todos los Autobuses clase I que se matriculen a partir de 01/09/2021

Es decir, sistemas similares al sistema que se plantea en este trabajo ya se incluyen o se incluirán en el compartimento del motor de los autobuses que circulen por España en el futuro.



Figura 2.4. Tragedia autobús escolar en Italia (2017). [7]

3. MARCO REGULADOR ACTUAL

En este trabajo se tendrá en cuenta la legalidad vigente en España aplicable a este sistema, teniendo en cuenta que no existe actualmente legislación concreta sobre un sistema automático de detección y extinción de incendios en vehículos automóviles. Es, por tanto, un objetivo de este trabajo el analizar la conveniencia o no de legislar en esta materia. Pero para ello primero vamos a hablar de las normativas en las que se tendrían que incluir esta nueva regulación y de las normativas que afectarían a este nuevo sistema.

También es necesario aclarar que las normas UNE no son de obligado cumplimiento si no está expresamente establecido en algún reglamento.

Sirva este capítulo como recopilación general de la regulación existente, aunque en cada capítulo o epígrafe del trabajo se hará referencia a la normativa que sea necesaria.

Antes de pasar a hablar sobre normativas concretas, se debe hacer una breve introducción sobre la normativa que se aplica en España sobre vehículos.

La globalización ha permitido que exista un importante comercio internacional. Este comercio internacional sería imposible sin una serie de reglas comunes, un producto fabricado en España debe poder comercializarse en Hungría, por ejemplo, y viceversa.

El sector del automóvil no es distinto, y es por ello por lo que se ha querido hacer una regulación a nivel global. Esta regulación tiene una especial importancia para España, que fue el noveno productor de coches del mundo y el segundo de la U.E. en 2018 según la Organización Internacional de Constructores de Automóviles [8].

España y la Unión Europea están adheridas al Acuerdo de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) sobre la adopción de prescripciones técnicas aplicables a los vehículos de ruedas y los equipos y piezas que puedan montarse o utilizarse en estos, y sobre las condiciones de reconocimiento recíproco de las homologaciones concedidas conforme a dichas prescripciones.

Por lo que en España se aplican los reglamentos del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP.29) de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), que es un grupo de trabajo de que se encarga de crear reglamentos para el diseño de vehículos para facilitar el comercio internacional.

En este foro además de los países de la UE participan otros países, cada uno identificado con la letra E y un número, España se identifica con el 9, E9.

En resumen, España ha dejado de legislar directamente en este aspecto, esperando que desde Naciones Unidas se legisle. La Unión Europea hace obligatorio el cumplimiento de la reglamentación de Naciones Unidas a través de una Directiva y España hace lo propio transponiendo la Directiva Europea a través de un Real Decreto.

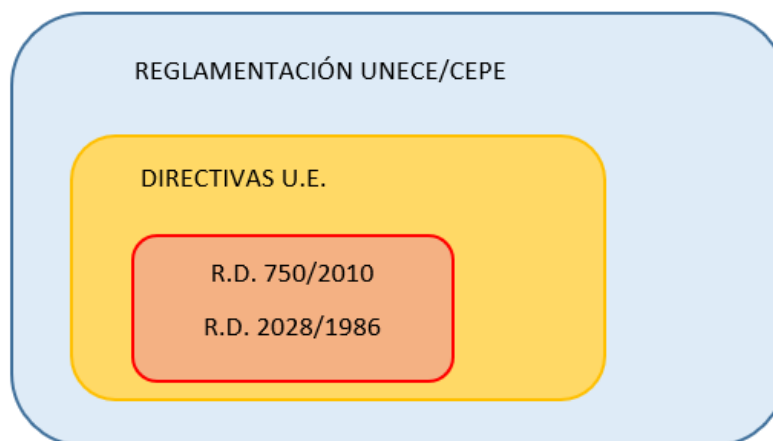


Figura 3.1. Esquema de la jerarquía de la regulación de automóviles en España.

A continuación, se va a dividir el estudio de la normativa en dos partes: la reglamentación de los automóviles y la reglamentación aplicable al sistema de detección y extinción de incendios.

3.1. Automóviles

En España, las normativas que aplicarían a este sistema sería el

- **R.D. 2028/1986**, de 6 de junio, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos.
- La Directiva a la que hace referencia es la **Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de septiembre de 2007 por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinadas a dichos vehículos**. Esta Directiva será derogada próximamente por el **Reglamento Europeo 2018/858**.

3.2. Sistema de detección y extinción

En cuanto a los posibles sistemas de extinción el marco regulador sería este:

R.D. 513/2017 Reglamento de instalaciones de protección contra incendios: aquí vienen expresadas las normas UNE que debemos seguir dependiendo del agente extintor y otras características de nuestra instalación.

También se tendrán en cuenta la **Directiva 2014/68/UE de equipos a presión**, aplicada en España a través del Real Decreto 709/2015.

3.2.1. Detectores

Todas las normas UNE que deben cumplir los detectores de una instalación de protección contra incendios vienen recogidas en el ANEXO I Características e instalación de los equipos y sistemas de protección contra incendios, Sección 1.^a Protección activa contra incendios, 1. Sistemas de detección y de alarma de incendios.

Para el sistema de detección de incendios se usaría las normas UNE EN-54, esta norma se centra en las especificaciones del producto (detector) más que en la aplicación, y está referido a las instalaciones de edificios, pero a falta de normativa especializada en los vehículos se podría usar esta norma como guía, aunque debido a las condiciones extremas (vibraciones, calor, corrosión) de , por ejemplo, el compartimento del motor, se deberían hacer pruebas específicas para este tipo de entorno.

3.2.2. Normativa agua nebulizada

En el R.D. 513/2017 Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, en el anexo 1, sección primera, punto 8 se especifica que:

“Los sistemas de extinción por agua nebulizada, sus características y especificaciones, así como las condiciones de su instalación, serán conformes a la norma UNE-CEN/TS 14972.”

Al estar la norma **UNE-CEN/TS 14972** incorporada en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios es de obligado cumplimiento para los sistemas de agua nebulizada.

En el caso de los sistemas de extinción por agua nebulizada tanto para edificios como para automóviles la mayoría de las empresas especifican que usan la norma estadounidense **NFPA 750** para el cálculo y dimensionado para sus sistemas.

3.2.3. Normativa polvo (baterías coches híbridos y eléctricos)

Las normas UNE de obligado cumplimiento para los sistemas fijos de extinción por polvo según el R.D. 513/2017 son:

- UNE-EN 12416-2 *Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción por polvo. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.*
- UNE-EN 12416-1 *Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción por polvo. Parte 1: Especificaciones y métodos de ensayo para los componentes.*
- UNE-EN 615 *Protección contra incendios. Agentes extintores. Especificaciones para polvos extintores (excepto polvos de clase D).*

En el caso de estudio esta última norma no aplicaría, porque como ya se explicará en capítulos posteriores, el polvo extintor que se necesitaría sería precisamente el polvo extintor clase D (baterías de litio).

3.3. Propiedad intelectual

A pesar de que este es un trabajo teórico y de que los sistemas automáticos de detección y extinción de incendios en automóviles no están implantados actualmente, estos sistemas ya están implantados en autobuses, trenes, edificios, etc. La tecnología necesaria para este proyecto está ya plenamente establecida y por lo tanto no es susceptible de patentabilidad.

4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En este capítulo se va a analizar en profundidad el problema de los incendios tras accidente de tráfico de los automóviles. Desde la mortalidad que causa este problema en varios países hasta su posible daño medioambiental.

4.1. Mortalidad y lesiones

A continuación, vamos a analizar las estadísticas de España y otros países para comprobar cuál es la importancia de este tipo de muerte en concreto en el global de la problemática de los accidentes de tráfico. Este epígrafe no solo es importante de cara a dimensionar este problema, sino que servirá para posteriormente, en el capítulo dedicado al impacto económico, ver cuál podría ser el impacto económico de la implantación de un sistema automático de detección y extinción automática de incendios en los vehículos.

4.1.1. Datos disponibles de la problemática en España

En España los únicos informes que tratan este problema son los informes de la Fundación Mapfre sobre víctimas de incendio en España [9], [10], [11], [12], [13], [14] que no están centrados exclusivamente en los incendios en vehículos.

En estos informes solo contabilizan las muertes producidas en accidentes de tráfico cuando la causa principal de la muerte es el incendio y no traumatismos debidos al propio accidente de tráfico u otros motivos. Estos informes, en lo que se refiere a muertes por incendio en vehículos, son muy escuetos y solo distinguen entre si el fallecimiento se produjo en un vehículo terrestre o en una embarcación, sin especificar si se produjo en un turismo, una motocicleta, etc.

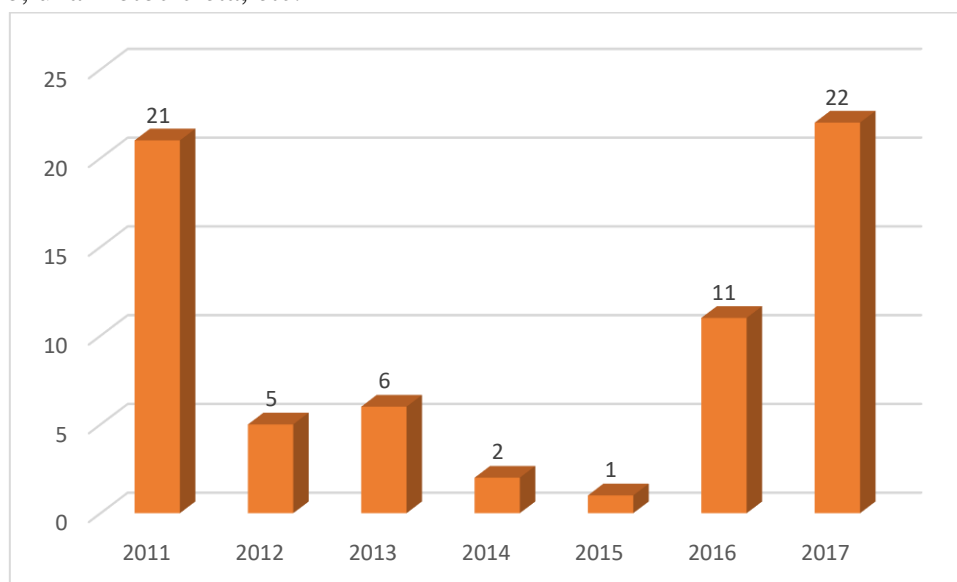


Figura 4.1. Fallecidos en incendio en vehículos 2011-2017 en España. [9]-[14]

En la Fig. 4.1. se puede observar que fallecieron 68 personas en el periodo 2011-2017, aunque la falta de datos impide sacar conclusiones.

La falta de datos recogidos en los accidentes de tráfico en España impide sacar conclusiones, probablemente los fallecidos contabilizados en este informe no son los únicos y no tenemos datos de heridos.

Estos informes reflejan la necesidad de mejorar la recogida de datos en los accidentes de tráfico en España.

4.1.2. Datos de Suecia

Los datos sobre la problemática en Suecia se extrajeron del informe de 2013 de Viklund *et al.* [15]. Este informe sueco analiza todos los accidentes mortales ocurridos en Suecia desde 1998 hasta 2008 en los que se produjo un incendio en el vehículo de las víctimas. La Swedish Transport Administration recoge multitud de datos en todos los accidentes de tráfico con víctimas mortales, en todos los casos existen autopsias que revelan datos de lesiones, toxicológicos, como la concentración de CO en sangre y de alcohol, y finalmente, la causa principal de la muerte.

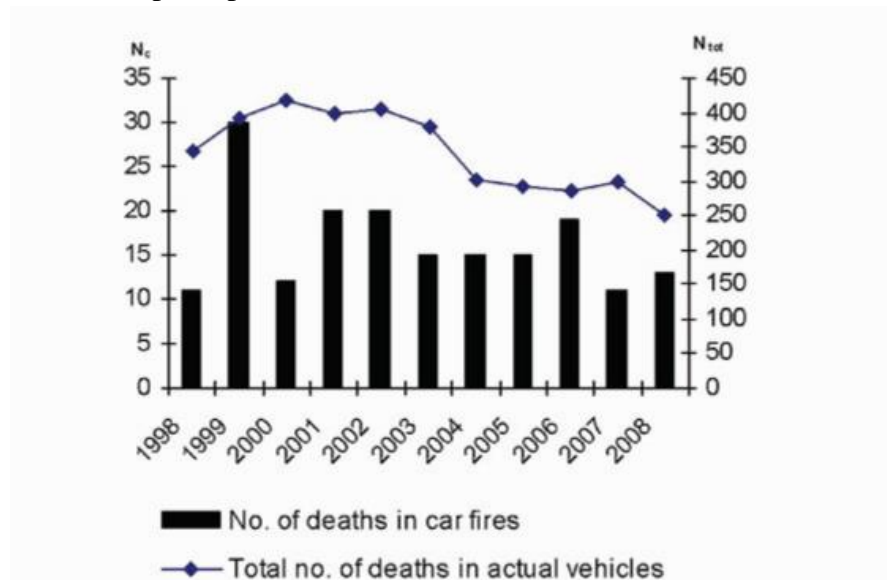


Figura 4.2. Número de muertes en incendios en turismos (N_c) y número total de muertes en accidentes de tráfico (N_{tot}) [15]

En el periodo estudiado fallecieron 181 personas cuyos vehículos se incendiaron, casi el **5% de los fallecidos en accidentes de tráfico en Suecia** durante ese periodo (3767), Fig. 4.2.

Del total de 181 fallecidos, 55 casos la causa principal de la muerte fueron las quemaduras o la inhalación de humo, en 118 la causa principal de la muerte fueron los traumatismos, en 5 casos encontraron evidencias de suicidio y en otros 5 se sospecha del suicidio.

Las muertes que el sistema de detección y extinción de incendios de este trabajo podría evitar serían, a priori, las 55 cuya causa principal fue el incendio (quemaduras/ asfixia). Pero se debería tener en cuenta que, aunque en el resto de las muertes, excluyendo suicidios, el incendio no fue la causa primaria de la muerte si fue una causa secundaria.

En cuanto a estas 55 muertes, que se produjeron en 32 vehículos, el estudio revela que 41 personas fallecieron por quemaduras, 10 por la combinación de quemaduras e inhalación

de humos, 3 por inhalación de humos y 1 por inhalación de humos y envenenamientos por pastillas contra el insomnio (posible suicidio).

En uno de los casos de fallecimiento la persona que viajaba en el vehículo incendiado tenía una discapacidad que no le permitió abandonar el vehículo.

De este estudio se concluye que las muertes en accidentes de tráfico en las que están relacionados los incendios no son despreciables ya que suponen el 5% de las muertes producidas por accidentes de tráfico en Suecia.

4.1.3. Informes EE.UU.

Primero, se van a analizar los datos recogidos en el informe de 2008 de M. Ahrens [16]. Este es un informe muy completo de la National Fire Protection Association (NFPA) en las que se recogen estadísticas de incendios en vehículos de EEUU. Es importante aclarar que todos los datos se dan como media anual del periodo indicado.

Tabla 4.1. Incendios de vehículos de carretera en EE.UU. por tipo de vehículo. Medias anuales periodo 2002-2005 [16]

Vehicle Type	Fires		Civilian Deaths		Civilian Injuries		Direct Property Damage (in Millions)
Passenger road vehicles	263,400	(92%)	408	(87%)	1,256	(87%)	\$787 (77%)
Automobile or passenger car	208,600	(72%)	305	(65%)	864	(60%)	\$549 (53%)
Motor home, camper or bookmobile	3,100	(1%)	7	(1%)	62	(4%)	\$41 (4%)
Bus, school bus, or trackless trolley	2,300	(1%)	11	(2%)	32	(2%)	\$27 (3%)
Off-road recreational vehicle	1,900	(1%)	3	(1%)	13	(1%)	\$6 (1%)
Motorcycle or trail bike	1,600	(1%)	2	(0%)	22	(2%)	\$4 (0%)
Travel trailer designed to be towed	1,300	(0%)	2	(0%)	18	(1%)	\$8 (1%)
Collapsible camping trailer	200	(0%)	0	(0%)	6	(0%)	\$1 (0%)
Mobile home or building, or manufactured housing	200	(0%)	0	(0%)	4	(0%)	\$2 (0%)
Unclassified passenger road vehicle	44,200	(15%)	78	(17%)	236	(16%)	\$149 (15%)
Trucks or freight road vehicles	24,400	(8%)	62	(13%)	183	(13%)	\$240 (23%)
General use truck, dump truck or fire apparatus	6,800	(2%)	7	(2%)	51	(4%)	\$42 (4%)
Semi-trailer, with or without tractor	6,200	(2%)	27	(6%)	41	(3%)	\$89 (9%)
Pickup truck or non-motorized hauling rig	3,700	(1%)	3	(1%)	35	(2%)	\$18 (2%)
Garbage, waste or refuse truck	2,000	(1%)	0	(0%)	6	(0%)	\$17 (2%)
Tank truck for flammable or combustible liquid or chemical cargo	400	(0%)	7	(2%)	15	(1%)	\$14 (1%)
Tank truck for nonflammable cargo	300	(0%)	2	(0%)	1	(0%)	\$3 (0%)
Tank truck for compressed or LP-gas	100	(0%)	0	(0%)	0	(0%)	\$1 (0%)
Unclassified freight road transport vehicle	4,900	(2%)	15	(3%)	35	(2%)	\$56 (5%)
Total	287,700	(100%)	471	(100%)	1,439	(100%)	\$1,027 (100%)

En el periodo 2002-2005 se produjeron 208600 fuegos al año en automóviles en Estados Unidos resultando de ellos 305 fallecidos/año y 864 heridos/año produciendo un daño directo a la propiedad de 549 millones de dólares de media al año (Tabla 4.1).

En este informe, al estar referido a todo tipo de vehículos, en la mayoría de las tablas y figuras engloba a los automóviles en los *highway vehicles*, que son vehículos diseñados

para autopista, no significa que los incendios hallan ocurrido en una autopista necesariamente, y engloba a automóviles, motocicletas, camiones, caravanas, etc. Cuando los datos se refieran a automóviles/turismos el resto de los vehículos de carretera estarán excluidos de esas cifras.

Los datos que se necesitan en este trabajo son los de incendios tras colisión o vuelco, y en este caso representan el 3% de los incendios de *highway vehicles*. Sin embargo, a este 3% de incendios están asociados el 57% de los fallecimientos.

Tabla 4.2. Incendios en vehículos de carretera por causa del incendio. Medias anuales 2002-2005. [16]

Factor Contributing to Ignition	Fires	Civilian Deaths		Civilian Injuries		Direct Property Damage (in Millions)	
Unclassified mechanical failure or malfunction	83,800 (29%)	12	(2%)	194	(13%)	\$272	(27%)
Leak or break	35,600 (12%)	35	(7%)	168	(12%)	\$98	(10%)
Unclassified electrical failure or malfunction	30,500 (11%)	1	(0%)	57	(4%)	\$103	(10%)
Unspecified short circuit arc	19,000 (7%)	0	(0%)	65	(4%)	\$67	(7%)
Unclassified factor contributed to ignition	17,000 (6%)	59	(13%)	116	(8%)	\$90	(9%)
Exposure fire	14,900 (5%)	21	(4%)	24	(2%)	\$97	(9%)
Backfire	13,100 (5%)	1	(0%)	87	(6%)	\$26	(3%)
Worn out	10,400 (4%)	0	(0%)	17	(1%)	\$16	(2%)
Short circuit arc from defective, worn insulation	8,400 (3%)	0	(0%)	18	(1%)	\$21	(2%)
Collision or overturn	8,100 (3%)	268	(57%)	219	(15%)	\$87	(8%)
Abandoned or discarded materials or products	6,600 (2%)	1	(0%)	36	(2%)	\$24	(2%)
Heat source too close to combustibles	6,400 (2%)	8	(2%)	75	(5%)	\$24	(2%)
Flammable liquid or gas spilled	6,100 (2%)	38	(8%)	93	(6%)	\$24	(2%)
Unclassified misuse of material or product	5,700 (2%)	13	(3%)	76	(5%)	\$20	(2%)
Unclassified operational deficiency	4,500 (2%)	2	(0%)	25	(2%)	\$16	(2%)
Short circuit arc from mechanical damage	4,400 (2%)	1	(0%)	20	(1%)	\$12	(1%)
Arc, spark from operating equipment	3,600 (1%)	0	(0%)	25	(2%)	\$10	(1%)
Equipment not being operated properly	2,300 (1%)	10	(2%)	36	(2%)	\$10	(1%)
Cutting, welding too close to combustible	1,900 (1%)	0	(0%)	17	(1%)	\$3	(0%)
Flammable liquid used to kindle fire	1,800 (1%)	7	(1%)	13	(1%)	\$11	(1%)
Installation deficiency	1,800 (1%)	0	(0%)				
Arc from faulty contact or broken conductor	1,500 (1%)	0	(0%)	7	(0%)	\$5	(0%)
Improper fueling technique	1,500 (1%)	1	(0%)	52	(4%)	\$2	(0%)
Failure to clean	1,500 (1%)	0	(0%)	3	(0%)	\$2	(0%)
Other known factors	10,300 (4%)	21	(5%)	96	(7%)	\$44	(4%)
Total entries*	300,700 (104%)	501	(106%)	1,552	(108%)	\$1,088	(106%)
Total fires	287,700 (100%)	471	(100%)	1,439	(100%)	\$1,027	(100%)

Las colisiones y los vuelcos (*collision or overturn*) en vehículos de carretera durante este periodo estuvieron relacionados con una media de 8100 incendios al año, lo que se convierte en una media de 268 muertes al año y 219 heridos (Tabla 4.2.).

Teniendo en cuenta que se produjeron 268 muertes al año en incendios tras colisiones o vuelcos de vehículos de carretera y que en el periodo 2002-2005 el 65% de las muertes se produjeron en automóviles (Tabla 4.1.) se puede estimar que se produjeron en EE.UU. **alrededor de 174 fallecidos al año en automóviles tras accidentes de tráfico.**

Se estima que casi 700 (696) personas fallecieron en incendios tras accidentes de tráfico en turismos en EE.UU. en el periodo 2002-2005.

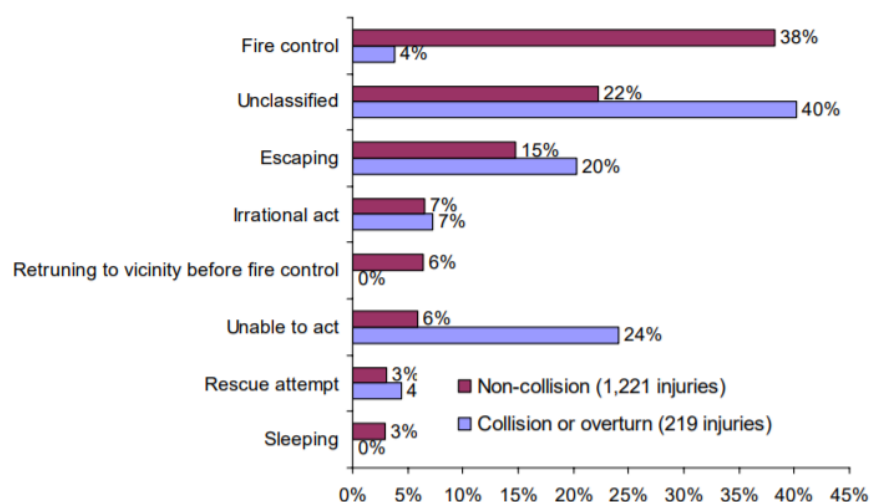


Figura 4.3. Heridos en incendios de vehículos de carretera por causa del incendio (colisión/ vuelco o no-colisión) y actividad del herido cuando se produjo la lesión. Media 2002-2005 [16]

De la Fig. 4.3. se concluye que en los incendios no mortales a causa de colisión o vuelco de vehículos de carretera la mayoría de las lesiones se produjeron debido a que las víctimas no podían actuar (24%) o estaban tratando de escapar (20%).

Tabla 4.3. Muertes y heridos en incendios de vehículos de carretera por actividad cuando se produjo la lesión. Media de 2002 a 2005 [16]

Activity at Time of Injury	Civilian Deaths		Civilian Injuries	
Unable to act	218	(46%)	96	(7%)
Unclassified activity	169	(36%)	319	(22%)
Irrational act	34	(7%)	80	(6%)
Escaping	23	(5%)	242	(17%)
Sleeping	20	(4%)	53	(4%)
Fire control	5	(1%)	513	(36%)
Returning to vicinity of fire before control	2	(0%)	82	(6%)
Rescue attempt	0	(0%)	50	(3%)
Returning to vicinity of fire after control	0	(0%)	5	(0%)
Total	471	(100%)	1,439	(100%)

En la Tabla 4.3. se observa que 218 personas fallecieron de media al año en incendios en vehículos de carretera porque estaban inconscientes o no tenían la capacidad para escapar y 23 personas fallecieron de media al año tratando de escapar.

Tabla 4.4. Causa principal de muerte o lesión en vehículos de carretera en EEUU. Media de 2002 a 2005 [16]

Primary Apparent Symptom	Civilian Deaths		Civilian Injuries	
Burns and smoke inhalation	275	(58%)	209	(14%)
Thermal burns only	99	(21%)	658	(46%)
Internal trauma	28	(6%)	10	(1%)
Smoke inhalation	20	(4%)	233	(16%)
Unclassified symptom	15	(3%)	26	(2%)
Crushing	10	(2%)	0	(0%)
Unconscious	10	(2%)	11	(1%)
Cardiac arrest	4	(1%)	2	(0%)
Gunshot or projectile wound	4	(1%)	1	(0%)
Other known symptom	5	(1%)	289	(20%)
Total	471	(100%)	1,439	(100%)

En la Tabla 4.4. podemos ver que la combinación de quemaduras e inhalación de humo fue la principal causa de muerte en los incendios en vehículos de carretera (no están desglosados en causa del incendio). También debe tenerse en cuenta que el incendio en el resto de los casos también jugó un papel importante en el fallecimiento de las víctimas, agravando la situación del herido o bien impidiendo su rescate.

En estadísticas más recientes, del periodo 2014-2016 de la U.S. Fire Administration [17] las colisiones o vuelcos fueron la causa del 5% de los incendios de vehículos de carretera, frente al 3% del anterior periodo, y estuvieron asociados al 62% de las muertes en incendio de estos vehículos frente al 57% del anterior periodo. Se observa que la influencia de los incendios en accidentes de tráfico ha subido ligeramente, no obstante, en el periodo las muertes en incendios en vehículos de carretera han pasado de las 471 anuales de 2002-2005 a las 345 de 2014-2016, una reducción de casi el 27%.

Analizando los datos de los distintos informes se observa que, si bien las muertes por incendios en turismos no son una de las causas principales de muertes en carretera, no son una causa despreciable y que puede afectar particularmente a personas con movilidad reducida, transformando un incendio tras una pequeña colisión en una tragedia.

Tabla 4.5. Pérdidas humanas y económicas en incendios de vehículos de carretera (media 2014-2016).
[17]

Measure	Highway vehicle fires	All fires (excluding highway vehicle fires)
Average loss:		
Fatalities/1,000 fires	2.9	2.2
Injuries/1,000 fires	4.4	10.7
Dollar loss/fire	\$7,290	\$10,290

Source: NFIRS 5.0.

Notes: 1. Average loss for fatalities and injuries is computed per 1,000 fires. Average dollar loss is computed **per fire** and is rounded to the nearest \$10.
2. The 2014 and 2015 dollar-loss values were adjusted to 2016 dollars.

En la Tabla 4.5. referente a cualquier tipo de incendio en vehículos de carretera, incluye intencionados, observamos que por cada 1000 incendios tenemos más muertes en incendios de vehículos de carretera que en el resto de tipo de incendios.

En conclusión, los incendios en turismos producen decenas de muertes al año, en gran parte de los casos los ocupantes no se encuentran en las condiciones de escapar o de iniciar las labores de extinción. También estadísticas como la de la Tabla 4.5. exponen una mayor mortalidad por incendio en los vehículos que en el resto de tipos de incendio. Hay que recalcar que la propia NFPA apunta que sus cifras son inferiores a las de National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) que asocian en el año 2005 el 3% de los accidentes de tráfico mortales de EE.UU. a incendios.

4.2. Evolución del problema

En el epígrafe anterior se han analizado brevemente las estadísticas de muertos por incendios en accidentes de tráfico. La literatura nos indica que esta problemática no es insignificante. Como ya vimos, en el estudio sobre este tipo de accidentes en Suecia hablaba de que en el periodo estudiado 1998-2008 el 5% de las muertes en carretera se produjeron en vehículos ardiendo, y en un tercio de ellos (55/181) murieron exclusivamente a causa del fuego, es decir, un tercio de los fallecidos murieron por asfixia, quemaduras o la combinación de ambas.

¿Cuál es la importancia de estos datos? La importancia de esto reside en que diversos estudios apuntan a que el porcentaje de muertes asociadas a incendios probablemente aumenten los próximos años si no se toman medidas.

Los accidentes de tráfico mortales llevan reduciéndose décadas en Estados Unidos, sin embargo, las estadísticas de diferentes instituciones norteamericanas (CDS, NFIRS, FARS) que se presentan en el estudio de 2016, R. Ochoterena *et al.* [18] muestran que los accidentes de tráfico en los que están involucrados los incendios muestran una tendencia de ascenso. En el año 2000 el 2,9 % de los vehículos accidentados se incendiaban frente al 3,3 % del año 2013.

La razón de este aumento de incendios en vehículos es simple, la energía que es capaz de absorber un vehículo actual en un impacto es mayor que la energía que podían absorber los automóviles del pasado.



Figura 4.4. Estructura de la carrocería de un turismo estándar [19]

Como podemos ver en la Fig. 4.4. la carrocería de los turismos consta de una jaula que protege el habitáculo formada por aceros de alta resistencia y la parte trasera y delantera está diseñada para absorber la máxima energía posible en caso de impacto.

Esto hace que los ocupantes tengan muchas más posibilidades de sobrevivir tras el impacto, sin embargo, existe una relación entre la cantidad de energía que absorbe un coche y las probabilidades de que se desencadene un incendio en el vehículo.

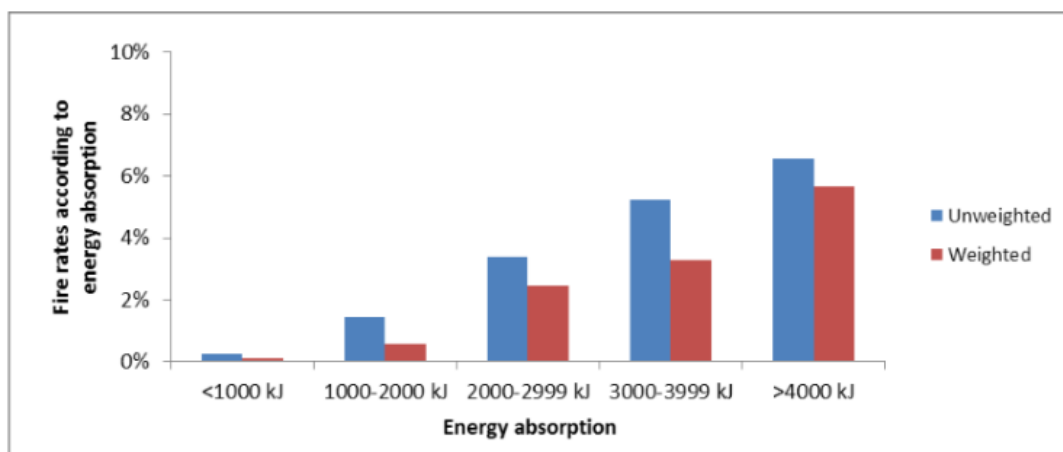


Figura 4.5. Porcentajes de incendios en vehículos en función de la energía absorbida en el impacto [18]

En la Fig. 4.5. se observa que la relación que existe entre la energía absorbida en el impacto y la probabilidad de que suceda un incendio es casi lineal.

Estos datos llevan a pensar que si sigue mejorando la absorción de energía ante impacto de los vehículos también aumentarán los incendios. Es necesario mejorar la seguridad de los turismos en materia de incendios, si no, habrá casos en los que a pesar de que la mejora

en la absorción del impacto de los turismos haya conseguido salvar la vida de los ocupantes un incendio posterior pueda acabar con sus vidas.

Tabla 4.6. Porcentajes de vehículos incendiados en accidente de tráfico y de víctimas mortales en vehículos incendiados 2002-2014 [18]

Year	Total vehicles involved	% Vehicles catching fire	% Fatalities occurring in vehicle catching fire
2002	58426	2,95%	4,54%
2003	58877	2,77%	4,30%
2004	58729	2,79%	4,20%
2005	59495	2,98%	4,71%
2006	58094	3,03%	4,71%
2007	56253	2,96%	4,60%
2008	50660	3,01%	4,50%
2009	45540	2,93%	4,58%
2010	44862	2,86%	4,47%
2011	44119	3,03%	4,77%
2012	45960	3,31%	5,17%
2013	45102	3,14%	5,24%
2014	44858	3,28%	5,36%

En la Tabla 4.6. podemos ver como el porcentaje de vehículos que se incendian aumenta año tras año desde 2002 y lo mismo con el porcentaje de muertes en estos vehículos.

4.3. ¿Dónde se producen los incendios?

Para poder desarrollar un sistema eficaz de detección y extinción de incendios debemos saber cuáles son los lugares donde se producen los incendios con más frecuencia. De este modo podremos enfocar correctamente la colocación de sensores y aspersores.

M. Ahrens, 2008 [16] proporciona multitud de datos en cuanto al origen de los incendios en vehículos. En este estudio se cogerán los datos referentes al origen de incendios en vehículos de carretera, en este caso no hay datos exclusivamente referidos a los turismos.

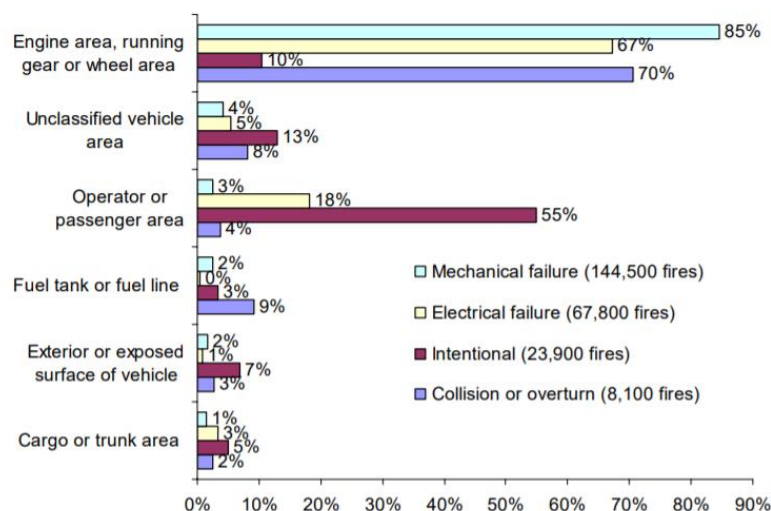


Figura 4.6. Zona origen del incendio en función de la causa del incendio 2002-2005. [16]

En la Fig. 4.6. se observa que se produjeron 8100 incendios de media al año en el periodo 2002-2005 tras colisión o vuelco. El 70% de estos incendios se iniciaron en el área del motor y en el área de las ruedas. Y un 4% en el habitáculo de pasajeros.

Tabla 4.7. Muertes, heridos y daños materiales de incendios tras colisión o vuelco y por zona de origen del incendio. Media anual 2002-2005. [16]

Area of Fire Origin	Fires		Civilian Deaths		Civilian Injuries		Direct Property Damage (in Millions)	
Engine area, running gear or wheel area	5,700	(70%)	112	(42%)	102	(47%)	\$45	(52%)
Fuel tank or fuel line	700	(9%)	70	(26%)	52	(24%)	\$14	(16%)
Unclassified vehicle area	700	(8%)	44	(17%)	21	(10%)	\$8	(9%)
Operator or passenger area	300	(4%)	19	(7%)	15	(7%)	\$3	(4%)
Exterior or exposed surface of vehicle	200	(3%)	0	(0%)	8	(4%)	\$2	(2%)
Cargo or trunk area	200	(2%)	9	(3%)	13	(6%)	\$13	(14%)
On or near highway, parking lot or street	100	(2%)	7	(3%)	1	(1%)	\$1	(1%)
Unclassified area of origin	100	(1%)	4	(1%)	1	(1%)	\$0	(0%)
Other known area	100	(1%)	2	(1%)	5	(2%)	\$0	(0%)
Total	8,100	(100%)	268	(100%)	219	(100%)	\$86	(99%)

En la Tabla 4.7. se desglosan los datos con mayor profundidad. Los incendios en el área del motor y las ruedas no solo provocan el 70% de los incendios, sino que también provocan el 42% de las muertes y el 47 % de los heridos. Le siguen los incendios originados en el tanque y en la línea de combustible que provocan el 9% de los incendios, el 26 % de las muertes y el 24% de los heridos. Y el tercer lugar de origen de los incendios es el habitáculo de los pasajeros, en el que se originan el 4% de los incendios provocando el 7% de las muertes y el 7% de los heridos. De las 268 personas que de media morían al

año en incendios tras colisión o vuelco, 201 lo hacían por incendios originados en alguno de estos tres sitios.

Tabla 4.8. Área de origen de los incendios de vehículos de carretera 2014-2016 [17]

Areas of fire origin	Percent of highway vehicle fires (unknowns apportioned)
Transportation, vehicle areas	93.1
Engine area, running gear, wheel area	62.2
Operator/Passenger area of transportation equipment	12.3
Other vehicle areas	8.7
Cargo/Trunk area — all vehicles	4.6
Exterior, exposed surface of vehicle	3.4
Fuel tank, fuel line	1.6
Separate operator/control area of transportation equipment	0.3
All other areas	6.9
Total	100.0

Source: NFIRS 5.0.

En la Tabla 4.8. se observan los datos de origen del incendio para el periodo 2014-2016, como se puede observar los datos no han cambiado significativamente los últimos años.

Viklund *et al.* [15] arrojan pocos datos sobre el inicio de los incendios. En su estudio no se pudo determinar el origen del incendio en el 52% de los casos, en el 23% el incendio se originó en el área del motor, en el 16% en el tanque de combustible y en el 11% tuvo otros orígenes. Es decir, en este informe también se concluye que el lugar del vehículo donde más incendios se originan es el área del motor.

En conclusión, a la hora de diseñar el sistema, tanto el de detección como el de extinción, se debe tener muy en cuenta que la mayoría de los incendios se producen en el compartimento del motor. Pero teniendo en cuenta además el habitáculo de pasajeros, puesto que la función principal del sistema es la protección de los ocupantes.

La validez de esta conclusión se apoya en la normativa R-107 de la CEPE que vimos en capítulos anteriores y que obliga a los nuevos autobuses clase I, II y III a llevar equipado un sistema automático de detección y extinción de incendios en el compartimento del motor.

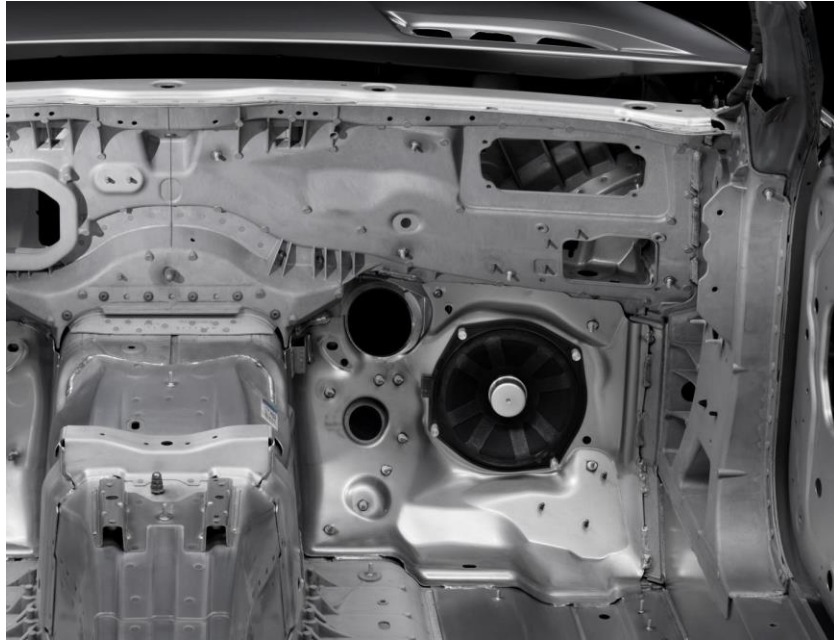


Figura 4.7. Separación entre el compartimento del motor y el habitáculo (Firewall) [20]

Además, como podemos ver en la Fig. 4.7. en los turismos la barrera entre el motor y el habitáculo, conocida como *firewall*, tiene huecos y es fácil la propagación del fuego de un compartimento al otro.

A pesar de no incluirse en la literatura, se debería añadir el compartimento de las baterías de litio de los vehículos híbridos y eléctricos como un lugar de riesgo de incendio muy importante. Actualmente no existen estadísticas sobre los incendios de vehículos híbridos y eléctricos. En Estados Unidos las ventas de vehículos eléctricos en 2018 representaron únicamente el 2,08% del total de vehículos vendidos [21].



Figura 4.8. Compartimento de baterías de un BMW i3 [22]

4.4. Fuego, humo y materiales

El fuego y el humo son productos de los incendios, en este epígrafe vamos a analizar su relación con los materiales del vehículo.

En el diseño del sistema de detección y extinción se deben tener en cuenta cuales son los productos del incendio que debemos detectar y extinguir. Para ello se va a analizar la literatura actual referente a esta materia y su influencia en las muertes y heridos en incendios en accidentes de tráfico. También se expondrá brevemente la normativa referente a materiales en vehículos en España.

4.4.1. Normativa actual sobre comportamiento materiales frente al fuego en vehículos de motor

Directiva 95/28/EC adoptada después como la UNECE R-118 (aplicada para vehículos con capacidad de transportar más de 22 pasajeros, se excluye autobuses urbanos o diseñados para pasajeros que viajen de pie)

Esta directiva establece tres pruebas de inflamabilidad: combustión vertical; combustión horizontal y fusión de materiales. Las pruebas de combustión se hacen con mecheros Bunsen y miden la velocidad de propagación (mm/min), mientras que la de fusión estudia si las gotas del material fundido pueden comenzar un incendio. Estas pruebas están destinadas a pequeños incendios provocados con mecheros.

La legislación sobre materiales en los vehículos a motor es muy laxa comparada con la existente en aviación, trenes y otro tipo de vehículos. Y en el caso que ocupa a este trabajo, los turismos, ni siquiera existe.

Una vez más se hace patente la falta de regulación en materia de protección contra incendios en automóviles. A esta misma conclusión llega Digges *et al.* (2008) [23] cuya conclusión es que la introducción de pruebas de inflamabilidad de los materiales del vehículo podría conseguir que en caso de accidente e incendio posterior los servicios tuviesen más tiempo debido a una propagación mucho más lenta del fuego. Además del análisis de la toxicidad de los productos de la combustión de los materiales del vehículo.

En la conclusión de este estudio se apunta también a la necesidad de introducir materiales que eviten o retrasen la propagación del incendio a través del *firewall* (Fig. 4.7.).

4.4.2. Materiales de los vehículos

Los vehículos están compuestos de muchos materiales diferentes, desde los aceros de la carrocería hasta los textiles de los asientos. Cada uno tiene un comportamiento diferente ante el fuego.

Tabla 4.9. Materiales que componen un turismo estándar en %. [18]

Materials used in automobiles	
Steel sheet	41 %
Plain steel	18 %
Aluminium	8 %
Cast iron	6.4 %
Zinc, copper, magnesium	2 %
Rubber	5.6 %
Plastics	9.3 %
Other materials*	9.7 %
*Adhesives/paints 3.0 %, glass 2.9 %, textiles 0.9 %, fluids 0.9 %, miscellaneous materials 2 %	

Los plásticos se corresponden con en torno al 9% (Tabla 4.9.) del peso de un turismo estándar, esto se traduce en unos 115 kg. Los polímeros son clave en la industria automovilística pues su uso reemplazando a otros materiales ha conseguido disminuir el peso total de los vehículos, lo que implica una reducción de consumo de combustible.

Estos 115 kg de polímeros, sin embargo, son un potencial combustible en caso de incendio en el vehículo. Además, estos polímeros se unen al problema que supone el propio combustible del vehículo.

Destacan el polipropileno (32%), el poliuretano (familia) (17%) y el PVC (16%) como los polímeros más usados en los automóviles. El polipropileno (PP) se usa, por ejemplo, en el aislamiento de los cables eléctricos, y en las alfombrillas; el poliuretano (PUR) en los plásticos duros de la consola central y en los tapizados símil de piel; el policloruro de vinilo (PVC) en el panel de instrumentación, plásticos de las puertas, etc.

M. Ahrens (2008) [16] expone que el 28% de los incendios de vehículos de carretera comenzó con la ignición del recubrimiento aislante de una línea eléctrica del vehículo, generalmente este aislante es de PVC (no se indica en el estudio).

El uso de los polímeros en la construcción de automóviles ha aumentado los últimos años y, lejos de disminuir, su uso aumentará en el futuro por ello es muy importante en este estudio el conocimiento de estos como base para recalcar la importancia de un sistema de detección y extinción en los vehículos a motor.

Saber cuál es la composición de un turismo estándar nos ayudará posteriormente a saber qué clase de fuego se producirá y a elegir por lo tanto un agente extintor adecuado para ese propósito.

4.4.3. Productos del incendio

Como se vio en el informe de Viklund *et al.* [15], la muerte por asfixia es una de las principales causas de muerte en los incendios de vehículos.

El fuego reduce la concentración de oxígeno del habitáculo. Además, la combustión de los materiales del interior del vehículo debido a las condiciones de baja ventilación provoca que la combustión no sea completa y se expulsan al ambiente una gran cantidad de partículas y gases tóxicos.

El concepto humo es muy genérico, se refiere a los gases y las partículas en suspensión derivadas de una combustión incompleta, aunque también se pueden producir por pirólisis. Son estas partículas en suspensión las que reducen la visibilidad dificultando la evacuación y las que se introducen en los pulmones.

En el epígrafe anterior se ha introducido la importancia de los polímeros en la construcción de los automóviles actuales y su posible peligro en caso de incendio. En este epígrafe veremos cuál es la relación entre el fuego y los polímeros del turismo.

Primero, hay que aclarar que la descomposición de estos materiales no tiene por qué ser por combustión necesariamente, también puede ocurrir por pirólisis. Es decir, la descomposición del material a altas temperaturas, sin la necesidad de oxígeno.

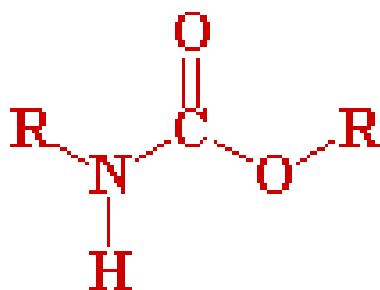


Figura 4.9. Enlace uretano. [24]

R. Ochoterena *et al.* [18] y A. Lönnemark y P. Blomqvist [25] apuntan a que gran parte de los elementos más perjudiciales se encontraban en los tapizados del habitáculo, muchos hechos de poliuretanos que como se ve en la Fig. 4.9. contienen nitrógeno N y en su combustión se producen derivados como el ácido cianhídrico (HCN), que en exposiciones de corta duración es irritante para las mucosas, pero en exposiciones más prolongadas puede producir convulsiones, pérdida de conocimiento e incluso la muerte [26].

Tabla 4.10. Gases producidos en la combustión/pirólisis de distintos elementos de un automóvil. [25]

Results from small-scale tests								
Car component	Test condition	CO ₂ (g/kg)	CO (g/kg)	HCN (g/kg)	NO (g/kg)	NH ₃ (g/kg)	HCl (g/kg)	SO ₂ (g/kg)
Door panel	Pyrolytic	410	43	2.1	–	–	120	–
	Flaming	1500	72	2.9	7.4	–	160	–
Component from ventilation system (polymer)	Pyrolytic	–	360	–	–	–	–	–
	Flaming	2100	27	–	–	–	–	–
Floor material (carpet)	Pyrolytic	–	49	4.9	–	–	–	–
	Flaming	2400	43	0.9	9.5	–	–	–
Dashboard	Pyrolytic	260	25	3.8	–	–	–	–
	Flaming	1800	23	1.2	6.4	–	–	–
Upholster material from drivers seat	Pyrolytic	250	43	1.7	–	–	51	–
	Flaming	1800	78	2.4	5.7	0.4	66	9.9
Upholster material from back seat	Pyrolytic	–	26	3.9	–	–	–	–
	Flaming	1700	88	5.3	7.5	0.35	8.1	10
Lacquered plate from car body	Pyrolytic	–	21	–	–	–	–	–
	Flaming	610	96	2.7	–	–	–	–
Electrical wirings	Pyrolytic	260	32	–	–	–	340	–
	Flaming	1100	86	–	–	–	390	–
Tyre	Pyrolytic	–	81	–	–	–	–	21
	Flaming	1400	30	–	–	2.3	–	11

Yields of compounds generated by the combustion.

También se detectaron gases como el ácido clorhídrico (HCl), muy corrosivo, fruto de la combustión del PVC que compone el panel de las puertas (*Door panel*) y el aislante de los cables eléctricos (*Electrical wirings*) (Tabla 4.10.).

Otros gases potencialmente dañinos para las personas y el medio ambiente se detectaron, por ejemplo: SO₂, VOCs (compuestos orgánicos volátiles, sobre todo el benceno), PAHs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y PCDDs/PCDFs.

El impacto de la emisión de estos gases y partículas no solo afectan a los ocupantes y al personal de emergencias, sino que también afecta al medio ambiente. Las emisiones que se producen en un solo incendio pueden considerarse despreciables, pero si tenemos en cuenta las emisiones de todos los vehículos incendiados el balance puede ser distinto. R. Ochoterena *et al.* [18] apuntan a que las emisiones de PAHs y PCDDs/PCDFs que se producen en los incendios de automóviles en Suecia son significantes respecto al total de emisiones de estos compuestos.

En el caso de los vehículos eléctricos A. Lecocq *et al.* compararon las consecuencias de un incendio en un vehículo de combustión y uno eléctrico. No se encontraron diferencias significativas en los gases producidos a excepción del ácido fluorhídrico (HF).

El vehículo eléctrico produjo casi 2,5 veces más HF que el vehículo combustión debido a que las baterías de litio usadas en los vehículos eléctricos utilizan LiPF_6 como electrolito (Tabla 4.11). El ácido fluorhídrico es muy corrosivo sobre la piel, las mucosas y los ojos.

Tabla 4.11. Comparación de emisiones de distintos gases en incendios de vehículos eléctricos (EV) y de combustión (ICE) [27]

<i>Tested element</i>	<i>EV manufacturer 1</i>	<i>ICE vehicle manufacturer 1</i>	<i>EV manufacturer 2</i>	<i>ICE vehicle manufacturer 2</i>
<i>Test</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>
Nominal Voltage (V)	330 V ^a	-	355 V ^a	-
Capacity (Ah)	50 Ah ^a	-	66,6 Ah ^a	-
Energy (kWh)	16,5 kWh ^a	-	23,5 kWh ^a	-
Mass (kg)	1 122 kg	1 128 kg	1 501 kg	1 404 kg
Lost mass (kg)	212 kg	192 kg	278,5 kg	275 kg
Lost mass (%)	19%	17%	18,6%	19,6%
Online gas analysis – total quantity of emitted gases (FTIR and online analyzers)				
CO₂ (g)	460 400	508 000	618 490	722 640
CO ₂ (mg/lost g)	2 172	2 646	2 220,8	2 627,8
CO (g)	10 400	12 040	11 700	15 730
CO (mg/lost g)	49	63	42	57,2
THC (g)	2 430	2 380	2 860	2 730
THC (mg/lost g)	11,5	12,4	10,3	9,9
NO (g)	500	679	770	740
NO (mg/lost g)	2,4	3,5	2,8	2,7
NO₂ (g)	198	307	349	410
NO ₂ (mg/lost g)	0,9	1,6	1,3	1,5
HF (g)	1 540	621	1 470	813
HF (mg/lost g)	7,3	3,2	5,3	3
HCl (g)	2 060	1 990	1 930	2 140
HCl (mg/lost g)	10	10,4	6,9	7,8
HCN (g)	113	167	148	178
HCN (mg/lost g)	0,5	0,9	0,5	0,6
Thermal effects				
Maximal HRR (MW)	4,2 MW	4,8 MW	4,7 MW	6,1 MW
Heat of combustion (MJ)	6 314 MJ	6 890 MJ	8 540 MJ	10 000 MJ
Heat of combustion/unit mass loss (MJ/ kg)	29,8 MJ/kg	35,9 MJ/kg	30,7 MJ/kg	36,4 MJ/kg

^a Characteristics of the battery pack of the EV.

5. ESTADO DE LA TÉCNICA

5.1. Clases de fuego

¿Qué es el fuego? El fuego es la manifestación física de una reacción de oxidación-reducción, la reacción de combustión. En esta reacción el agente reductor es el combustible (pierde electrones) y el comburente es agente oxidante (gana electrones). En esta reacción existe un desprendimiento de calor, es una reacción exotérmica.

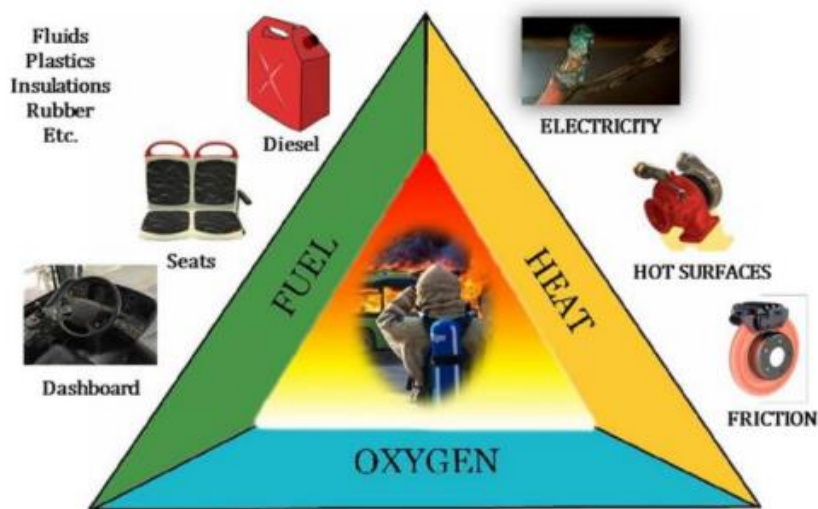
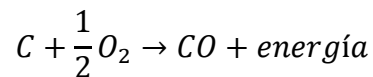
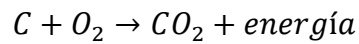


Figura 5.1. Triángulo del fuego. [28]

La Fig. 5.1. representa el triángulo del fuego, es decir, los tres factores que se necesitan para que se produzca un incendio. Se puede ver además que elementos del vehículo forman parte de este triángulo. Pero se descubrió que existía un cuarto elemento necesario para el mantenimiento de la combustión, la reacción en cadena.

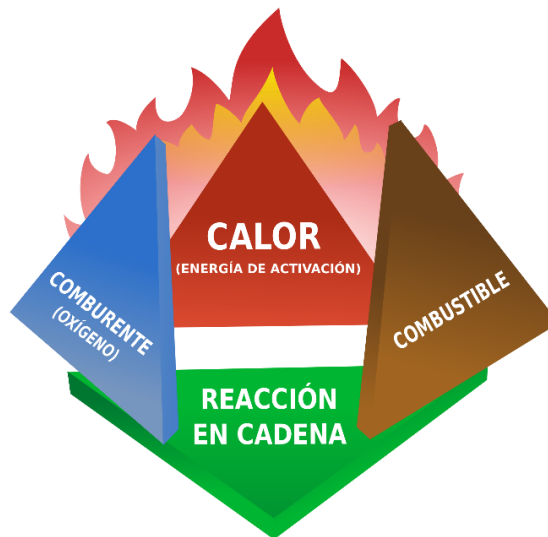


Figura 5.2. Tetraedro del fuego

La figura pasó a convertirse en un tetraedro (Fig. 5.2.). Las caras del tetraedro del fuego son el comburente (oxígeno), combustible, energía de activación (calor necesario para que se comience la reacción reducción-oxidación) y reacción en cadena (radicales libres). Si alguno de los elementos del tetraedro no está presente, o baja su intensidad lo suficiente, el fuego se extinguirá. La función de cualquier sistema de extinción es eliminar al menos una de las caras del tetraedro.

El sistema de extinción de incendio de este trabajo debe extinguir el incendio sin eliminar el oxígeno, pues el habitáculo del vehículo podría estar ocupado, el combustible (tapicería, diésel, plásticos, etc.) no podemos eliminarlo, así que tendremos que enfriar el habitáculo o eliminar la reacción en cadena.

Las clases de fuego normalizadas según la legislación vigente en España son, según la Norma UNE-EN-2-1994/A1 de noviembre de 2005:

- Clase A: son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica.
- Clase B: son los fuegos de líquidos y sólidos licuables.
- Clase C: son los fuegos de gases.
- Clase D: son los fuegos de metales.
- Clase F: son los fuegos de aceites y grasas vegetales o animales en los aparatos de cocina.

En un turismo los tipos de fuego que se pueden dar principalmente son los de clase A (p. ej. tapicerías) y B (p. ej. diésel, gasolina), sin embargo, los vehículos híbridos y eléctricos incorporan baterías de litio que en caso de perforación pueden provocar fuegos clase D. Este fuego es mucho más complejo de apagar.

5.2. Métodos de extinción

La elección correcta del agente de extinción para esta aplicación es uno de los elementos más importantes del trabajo. Para la elección del agente extintor tendremos en cuenta la legalidad vigente y las recomendaciones del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, a partir de ahora INSHT.

Primero, se va a enumerar los métodos de extinción de incendios y se analizará la pertinencia de cada uno de ellos para la aplicación de este trabajo. Son estos:

- **Eliminación** (combustible)
- **Sofocación** (comburente)
- **Enfriamiento** (energía de activación)
- **Inhibición** (reacción en cadena)

Cada uno de estos métodos eliminan una de las caras del tetraedro necesarias para mantener el fuego.

5.2.1. Eliminación

La eliminación actúa sobre el combustible, en el caso de un vehículo, todos los materiales inflamables de este. La eliminación puede ser directa, en la que retiramos los combustibles sólidos o cortamos el flujo de líquidos y gases a la zona incendiada. También puede ser una eliminación indirecta en la que refrigeramos el combustible cercano al fuego para que este no se incendie.

5.2.2. Sofocación

La sofocación actúa sobre el comburente, en el caso estudiado el oxígeno. La sofocación consiste en restringir la afluencia de oxígeno a la zona del incendio, las formas en las que podemos hacer esto son:

- ruptura de contacto combustible-aire (manta ignífuga, polvo, espuma, etc.)
- eliminando el flujo de oxígeno al incendio
- por dilución de la mezcla, disminuyendo la concentración de oxígeno lo suficiente usando gases inertes o agua, que al evaporarse también disminuye la concentración de O₂ aunque este último método es menos efectivo.

5.2.3. Enfriamiento

El enfriamiento es un método de extinción que funciona absorbiendo energía, es decir, actúa sobre la cara del tetraedro de la energía de activación. Esta energía absorbida es la que se emplearía en incendiar nuevos combustibles. El agua nebulizada es el método más eficaz de extinción por enfriamiento.

5.2.4. Inhibición

El último método de extinción es la inhibición, la inhibición es un método químico de extinción de incendios que elimina la reacción en cadena.

5.3. Agentes de extinción

En el capítulo 4 ,Análisis del problema, se analizaron cuáles eran los elementos que pueden funcionar como combustible dentro del vehículo y se llegó a la conclusión, teniendo en cuenta además la Orden de 27 de Julio de 1999 por la que se determinan las condiciones que deben reunir los extintores instalados en vehículos de transporte de personas o de mercancías, que el agente extintor del sistema de extinción de incendios diseñado en este trabajo debe estar indicado para fuegos clase A y clase B. Vamos a tener en cuenta también el polvo como agente extintor debido a que sería el único agente extintor adecuado para extinguir las baterías de litio.

Tabla 5.1. Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego [30]

AGENTE EXTERIOR	CLASES FUEGO (UNE EN 2:1994)			
	A Sólidos	B Líquidos	C Gases	D Metales especiales
Agua pulverizada	xxx ⁽²⁾	x		
Agua a chorro	xx ⁽²⁾			
Polvo BC (Convencional)		xxx	xx	
Polvo ABC (Polivalente)	xx	xx	xx	
Polvo específico metales				xx
Espuma física	xx ⁽²⁾	xx		
Anhidrido carbónico	x ⁽¹⁾	x		
Hidrocarburos halogenados	x ⁽¹⁾	xx		
Siendo: xxxMuy adecuado xx Adecuado x Aceptable				

Notas:

⁽¹⁾ En fuegos poco profundos (profundidad inferior a 5 mm) puede asignarse xx.

⁽²⁾ En presencia de tensión eléctrica no son aceptables como agentes extintores el agua a chorro ni la espuma; el resto de los agentes extintores podrán utilizarse en aquellos extintores que superen el ensayo dieléctrico normalizando en UNE 23110.

Los agentes extintores recogidos en la Tabla 5.1. se consideran adecuados para la extinción de los fuegos recogidos en la Norma UNE-EN-2-1994/A1 de noviembre de 2005.

Se eligen todos los agentes extintores adecuados (indicados para fuego clase A y B) de la tabla X. A continuación, se estudiarán las propiedades de cada agente y se estudiarán estos aspectos:

- **Propiedades de extinción**
- **Seguridad para las personas**
- **Limpieza**
- **Impacto ambiental**
 - **Potencial de reducción del ozono (ODP)**
 - **Potencial de efecto invernadero (GWP)**

5.3.1. Hidrocarburos halogenados

Los hidrocarburos halogenados utilizados como agentes de extinción son los bromofluorocarbonados, conocidos como halones. Estos compuestos extinguen el fuego por inhibición, es decir, capturando los radicales libres producidos en la combustión.

Los halones de extinción más utilizados son el halón 1301 (instalaciones fijas) y el halón 1211 (extintores portátiles).

Tabla 5.2. Halones utilizados como agentes extintores [31]

Denominación	Fórmula	Nombre
Halón 1301	BrCF_3	Trifluorobromometano
Halón 1211	BrCClF_2	Difluorobromoclorometano

Los halones de extinción son agentes extintores muy eficaces debido a su alto poder de extinción, pequeño volumen de almacenamiento, fácil proyección y baja toxicidad.

Sin embargo, el gran poder de destrucción de la capa de ozono de los halones provocó la prohibición de la producción en masa de estos compuestos por parte de la UE en aplicación del Pacto de Montreal. Actualmente esto está vigente a través del Reglamento (CE) 2037/2000.

El uso de halones de extinción para usos críticos está regulado en el Anexo IV del Reglamento (CE) nº 1005/2009, pero en ningún caso está permitido para automóviles de uso civil.

5.3.2. Alternativas a los halones

Debido a esto se valorarán algunas alternativas recomendadas por el INSHT (NTP 666 [31], NTP 975 [32], FDN 19 [30]) para sustituir los hidrocarburos halogenados.

El INSHT recomienda en la NTP 975 tres de los gases halocarbonados que aparecen en la norma UNE EN 15004:2009 (Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos):

Tabla 5.3. Concentraciones de diseño para la extinción y los índices de peligro [32]

Índices	HFC 23	HFC 227	HFC 125
% de diseño para la extinción (1) (rango)	16,3 -18	7,5-9,0	10,5-12,1
NOAEL (2)	50 %	9 %	7,5 %
LOAEL (3)	50 %	10,5 %	10 %
(1): Concentraciones mínima y máxima, según Normas UNE e ISO, (2): NOAEL (Non Observed Adverse Effects Level): concentración más alta a la que no se observan efectos adversos, fisiológicos o tóxicos. (3): LOAEL (Lowest Observed Adverse Effects Level): concentración más baja a partir de la cual se han observado ya efectos adversos, aunque estos no sean graves.			

HFC-23 (CHF3)

- Propiedades de extinción: actúa por absorción de calor (enfriamiento) y por inhibición, se usa en una concentración extintora entre el 16 y el 18% y no requiere presurización con nitrógeno.
- Seguridad para las personas: generalmente se usa en una concentración cercana al 16% mientras que el NOAEL es del 50% (Tabla 5.3.), luego tiene un margen de seguridad amplio.
- Limpieza: el HFC-23 no deja residuos.
- Impacto ambiental: el HFC-23 no destruye la capa de ozono (ODP nulo), pero tiene un potencial de efecto invernadero (GWP) de 13

HFC-125 (CHF2CF3)

- Propiedades de extinción: actúa por absorción de calor, concentración extintora de alrededor del 10%
- Seguridad: NOAEL del 7,5%, para concentraciones de extinción (11,5%) el tiempo máximo permitido de exposición es de 5 minutos.
- Limpieza: sin residuos.
- Impacto ambiental: similar al HFC-23.

HFC 227ea (CF₃CHFCF₃)

- Propiedades de extinción: actúa por absorción de calor, concentración extintora entre 5-7,1%,
- Seguridad: NOAEL del 9%.
- Limpieza: sin residuos.
- Impacto ambiental: ODP nulo y GWP bajo.

5.3.3. Gases inertes

En extinción de incendios se suelen aplicar el IG-01(Argón), IG-55 (50%N₂ 50%Ar) e IG-541 (52%N₂ 40%Ar 8%CO₂).

Tabla 5.4. Concentración extintora e índices de peligrosidad de gases inertes. [32]

Índices	IG-01	IG-55	IG-100	IG-541
% de diseño para la extinción (rango)	41,9-51,7	40,3-47,6	40,3-47,6	39,9-48,1
NOAEL	43%	43%	43%	43%
LOAEL	52%	52%	52%	52%

Tabla 5.5. Tiempo máximo de exposición a los agentes inertes en función de la concentración de diseño. [32]

Concentración de diseño (C)	Tiempo máximo de exposición
< 43%	5 minutos en salas ocupadas
43<C<52%	3 minutos en salas ocupadas
52<C<62%	30 segundos en salas no ocupadas
>62%	Salas no ocupadas. Exposición no permitida

- Propiedades de extinción: los gases inertes actúan por sofocación, dependiendo del gas en concreto reducen la concentración de oxígeno de un 21% (concentración normal) a entre un 11 y un 13%.
- Seguridad: en la Tabla 5.4. se puede ver cuáles son las concentraciones de diseño y los valores para los que empieza a existir peligro por la exposición, se observa que los valores de diseño y los de NOAEL Y LOAEL son cercanos por lo que no existe mucho margen de seguridad. Para los gases inertes deberíamos diseñar un sistema de extracción de los gases una vez descargados y extinguido el incendio

ya que nuestra aplicación no prevé una evacuación rápida (minutos o segundos),
Tabla 5.5.

- Limpieza: no deja residuos.
- Impacto ambiental: no daña la capa de ozono ni produce calentamiento global.

Debido a sus estrechos márgenes de seguridad en su aplicación en recintos ocupados, descartamos el uso de los gases inertes para la aplicación planteada.

5.3.4. Anhídrido carbónico (CO₂)

Los sistemas de CO₂ han sido, y siguen siendo, uno de los agentes extintores más usados y estudiados. Es por ello que tienen un coste reducido, una normativa de diseño aplicable muy clara. Su potencial de destrucción de la capa de ozono es nulo y tiene un potencial de efecto invernadero de 1.

Tabla 5.6. Efectos del CO₂ por concentración y tiempo de exposición. [32]

% CO ₂	Tiempo de exposición	Efectos
2	Varias horas	Dolor de cabeza, disnea con actividad física reducida.
3	1 hora	Disnea en reposo.
4 - 5	Varios minutos	Aumento de tensión arterial. Disnea incómoda.
6	1 – 2 minutos	Visión y audición afectados.
	16 minutos	Disnea, dolor de cabeza.
	Varias horas	Temblores.
7 - 10	minutos < 1 hora	Inconsciencia, aumento ritmo cardíaco, vértigo.
10 – 15	Varios minutos	Somnolencia, espasmos.
17 - 30	1 minuto	Convulsiones, coma, muerte.

Sin embargo, su uso en recintos ocupados es muy peligroso. El CO₂ es peligroso desde bajas concentraciones (Tabla 5.6.). Teniendo en cuenta que su concentración de diseño para extinción supera el 30% no es recomendable su uso como agente extintor en áreas ocupadas. Es por ello por lo que tiene que ser descartado en la aplicación planteada.

5.3.5. Espuma física

La espuma física que se utiliza en la extinción de incendios es la mezcla de agua, espumógeno y aire. El problema de este agente para su aplicación en este caso de estudio es su generación.

La espuma se genera en el momento en el que el sistema de detección se activa, en ese momento el agua se mezcla con el espumógeno en un dosificador, que los mezcla en la proporción adecuada, y posteriormente la mezcla se dirige al generador de espuma donde se incorpora el aire e incrementa su volumen. Es este proceso de generación de la espuma el que hace totalmente inviable la incorporación en un turismo de este sistema debido a los distintos equipos que se necesitan en su generación cuya inclusión en un vehículo sería complicada además de ser la generación otro inconveniente en cuanto a la baja velocidad de proyección del agente extintor.

Por tanto, este agente queda descartado debido a que la incorporación de un depósito de agua, un dosificador, un depósito de espumógeno y un generador de espuma en un turismo es inviable.

5.3.6. Polvo ABC (Polivalente)

El polvo ABC es principalmente fosfato monoamónico, este agente actúa por inhibición. El fosfato monoamónico no es tóxico, sin embargo, en el caso que se estudia en este trabajo su uso podría ser peligroso. La inundación total del habitáculo de un vehículo ocupado provocaría en los ocupantes problemas respiratorios, irritación dérmica y ocular (podría agravarse si existen heridas abiertas tras el accidente) e impediría la visibilidad en el habitáculo.

En cuanto a su limpieza, es un agente sucio y que provoca corrosión en los equipos sobre los que se proyecta, además necesita de un agente presurizador (aire comprimido, CO₂, nitrógeno) impulsor para poder usarse.

Su impacto ambiental es nulo, de hecho, el fosfato monoamónico es un popular fertilizante.

5.3.7. Polvos especiales para incendios clase D

Los polvos para incendios de metales son mezclas de sales adecuadas para extinguir el incendio del metal requerido. Actúan principalmente por inhibición. En el caso de este trabajo debemos elegir un polvo adecuado para la extinción de incendios de litio, como por ejemplo el Polvo G-1 (Tabla 5.7.).

Tabla 5.7. Adecuación de distintas preparaciones de mezclas de polvo (patentadas) para la extinción o control de fuego de metales o sus aleaciones. [34]

» Adecuación de distintas preparaciones de mezclas de polvo (patentadas) para la extinción o control de fuegos de metales o sus aleaciones.
Adecuación de distintas preparaciones de mezclas de polvo (patentadas) para la extinción o control de fuegos de metales o sus aleaciones.

Nombre del polvo y su composición	Na	K	Li	Mg	Al	Ti	U	Zr	Hf	Th	Pu	Ca
Polvo G-1 "Pireno" (Coque de fundición grafitado y fosfato orgánico)	*** (1)	*** (1)	**	***	*** (en polvo)	**	**	**	C	**	**	**
Polvo "Metal Guard" (Coque de fundición grafitado y fosfato orgánico)	** (1)	*** (1)	**	***	*** (en polvo)	**	**	**	C	**	**	**
Polvo "Met-L-X" (Cloruro sódico, fosfato tricálcico, estearatos metálicos y polvo termo plástico)	** (1)	** (1)	**	***	** (en polvo)	**	**	**	C			
Polvo "Na-X" (Carbonato sódico, aditivos fluidificantes y antihigroscópicos)	*** (metálico)			**C (en astillas)				**C (en astillas)				
Polvo "Lith-X" (Grafito y aditivos fluidificantes)	** (1)	**C	***	** (en astillas)				** (en astillas)				
Polvo "Pyromet" (cloruro sódico, fosfato diamónico, proteína y agentes hidrofugantes y fluidificantes)	**			** (en polvo y astillas)	** (en polvo y astillas)	**	**					**
Polvo "TEC" (cloruros potásico, sódico y bórico)	***	*** (1)	(1)			**					**	

» *

» Aceptable

» **

» Adecuado

» ***

» Muy adecuado

» C

» Sólo para control de fuego

5.3.8. Agua nebulizada (water mist)

Los sistemas de agua nebulizada para la extinción de incendios son sistemas que mediante la atomización de agua extinguen un incendio debido a dos acciones diferentes que al combinarse hacen de este un sistema eficaz:

- Enfriamiento (principal)
 - enfriamiento del combustible
 - disminuye la transmisión de calor por radiación
- Sofocación (desplazamiento de oxígeno en la base del fuego)

Podríamos añadir una tercera acción de este sistema que, aunque no ayuda en la extinción del incendio si ayudaría a la protección de los ocupantes, y es que las microgotas de agua ayudan a "limpiar" el humo del habitáculo de los elementos tóxicos que se vieron en el capítulo anterior.

Este sistema al estar basado en agua no es tóxico y, a pesar de que una de sus acciones es el desplazamiento de oxígeno, el recinto es perfectamente habitable durante su extinción (la concentración de oxígeno no baja a niveles que produzcan hipoxia), el agua nebulizada no conduce la electricidad, reduce los daños materiales que producen otras técnicas con agua y es una técnica ecológica.

Los vehículos eléctricos donde el problema de electrocución es importante los vehículos incorporan sistemas que tras accidente (disparo de airbags, sensores independientes) cortan el suministro de alta tensión del vehículo. Sin embargo, para una total seguridad estos vehículos incorporan en algún lugar accesible del vehículo un cable de corte de corriente para que los servicios de emergencia tengan todas las garantías de que el sistema de alta tensión está abierto. Desde este punto de vista, que el sistema utilizado no conduzca electricidad es un punto positivo.

Además, la atomización del agua y su división en pequeñas gotas consigue que una pequeña cantidad de agua cubra una superficie mayor de superficie. Esto consigue reducir el volumen de almacenamiento, algo realmente importante en la aplicación que se estudia.

Todas estas características hacen este sistema idóneo para un sistema de extinción en un turismo.

Tras el análisis de distintas opciones de agente extintor finalmente elegimos el agua nebulizada para el sistema de extinción de incendios en turismos de combustión. En el capítulo dedicado a la solución del problema se desarrollarán en profundidad las características de esta técnica.

En el caso de los automóviles híbridos y eléctricos se debería incorporar un sistema de **polvo químico seco para incendios clase D** que actuase exclusivamente en el recinto de las baterías de litio. Las baterías de litio de la mayoría de los vehículos eléctricos se sitúan en el suelo del habitáculo y en un recinto que, en algunos casos, como por ejemplo en el BMW i3, es de fibra de carbono o algún material muy resistente. Sin embargo, si las baterías en el accidente se perforan en el accidente se produce el incendio de las baterías de litio que deben apagarse con un agente extintor indicado para metales.

5.4. Sensores

En este epígrafe vamos a analizar qué tipos de sensores actualmente disponibles y utilizados se podrían utilizar para nuestra aplicación. Se van a analizar los datos de tres informes de una serie de informes titulados Fire detection and fire alarm systems in heavy vehicles [28], [35], [36] formado por 7 informes, extrapolaremos los datos y conclusiones de estos informes diseñados para vehículos pesados y autobuses a los automóviles. Además, se usarán las recomendaciones del INSHT [37].

En nuestra aplicación tenemos dos espacios diferenciados, que son el compartimento del motor y el habitáculo. Los sensores elegidos para cada espacio no deben ser necesariamente los mismos.

Los sistemas de detección de incendios funcionan detectando los productos de un incendio: gas, calor, humo y llamas. Los detectores deben detectar al menos uno de estos productos.

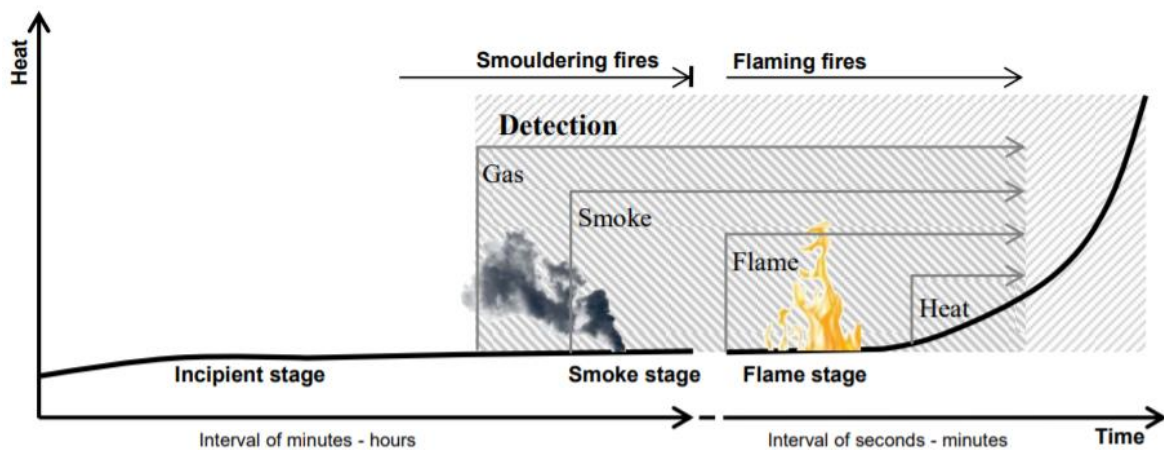


Figura 5.3. Detectores según el tiempo y la etapa del fuego, fuego latente (*smouldering fires*) y llama viva (*flaming fires*). [35]

Los detectores pueden ser instalados en un espacio de cuatro formas diferentes: puntual, lineal, volumétrico y por aspiración.

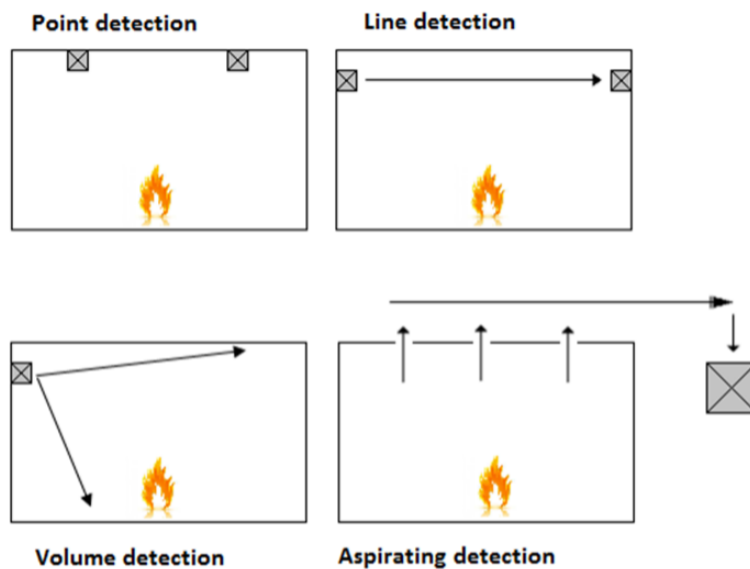


Figura 5.4. Diferentes tipos de detección de incendios. [35]

Los sistemas de la Fig. 5.4. son:

- Detector puntual: recoge información de un punto
- Detector lineal: recoge información a lo largo de una línea, normalmente, un cable que va de un punto a otro y que informaría de algún problema a lo largo de esa línea.
- Detector volumétrico: recoge información de un espacio.
- Detector por aspiración: aspira aire de varios puntos y analiza la información.

5.4.1. Detectores de calor

Como se ve en la Fig. 5.3. la detección de calor no es método más rápido de detectar un incendio. Además, en el compartimento del motor tenemos altas temperaturas y variaciones de temperatura. Dependiendo de la ventilación del compartimento, temperatura exterior, condiciones de trabajo, etc.

Sin embargo, este tipo de detectores son muy robustos y fiables (baja probabilidad de falsa alarma), y pueden soportar las condiciones de trabajo que se dan en el compartimento del motor.

5.4.1.1. Detectores de calor puntuales

Dentro de los detectores de calor puntuales existen distintas tecnologías.

- Termopares: los termopares están formados por dos conductores de metales distintos unidos en el extremo, dónde se quiere medir la temperatura. Se mide la diferencia de tensión entre los conductores de los extremos que será proporcional a la temperatura de la junta, en un conductor sin corriente el gradiente de tensión es proporcional al gradiente de temperatura (efecto Seebeck). En la Fig. 5.5. T1 sería la del punto que queremos medir y T2 dónde medimos la diferencia de potencial.

La información del termopar se puede interpretar como una temperatura fija o como una velocidad de aumento de la temperatura.

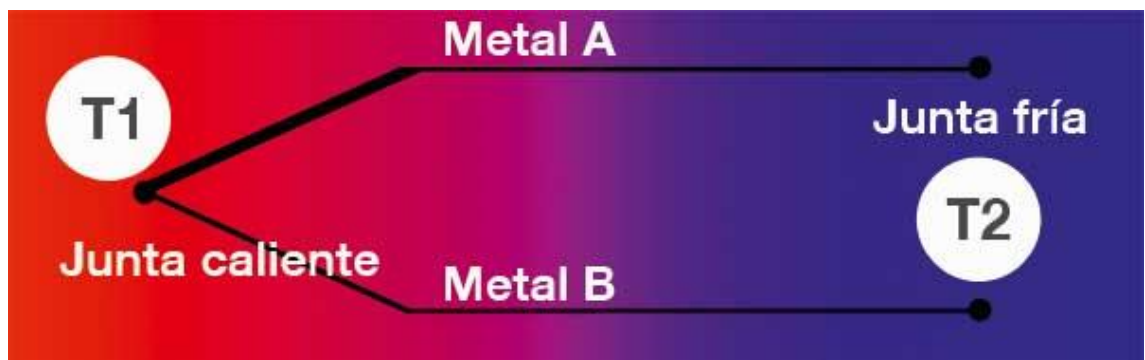


Figura 5.5. Esquema conceptual de un termopar. [38]

- Bimetales: la unión de dos metales con diferentes coeficientes de expansión térmica provoca un desplazamiento mecánico con el aumento de la temperatura y así activar una alarma.
- Otros: resistencias RTD, termómetros.

Existen métodos en los que no se necesitaría traducir estos fenómenos físicos en numéricos, y que activarían el sistema directamente, sin embargo, esto no es lo que se busca en este trabajo.

5.4.1.2. Detectores de calor de línea

Los detectores de calor lineales son un cable o una manguera que con distintas tecnologías son capaces de detectar un incremento de temperatura a lo largo de su longitud.

Lo más utilizados para la detección de incendios en vehículos pesados en datos de Willstrand *et al.* [28] se basan en la fusión de polímeros. El cable del sensor se compone de dos conductores aislados con un polímero. A la temperatura de activación el polímero aislante se derrite y los conductores se cortocircuitan.

También se usan mangueras presurizadas con un líquido o un gas que a una temperatura fijada activan el sistema de alarma.

En aviación existen sistemas de fibra óptica, el cambio de temperatura en la fibra cambia las propiedades de refracción y dispersión. En este sistema puedes saber el punto exacto del incendio midiendo los tiempos del pulso de luz.

5.4.2. Detectores de humo

En el epígrafe 4.4.3. (Productos de un incendio) se habló del humo como uno de los productos de la combustión incompleta, formado por partículas y gases procedentes de esta combustión. Los detectores de humo son capaces de detectar estas partículas y gases y dar la señal de alarma. Los detectores de humo se pueden dividir en dos subgrupos y pueden ser puntuales o usar un sistema de aspiración:

- Detectores por ionización
- Detectores ópticos

Los detectores de humo tienen ventajas muy importantes como, por ejemplo, una rápida actuación (Fig. 5.3.) pero no son muy robustos y deben trabajar en condiciones ambientales favorables lo que los inhabilita para su uso en el compartimento del motor.

En caso de que quisiésemos detectar un incendio en varios espacios diferenciados podríamos usar un sistema de aspiración como el de la Fig. 5.4., pero en un automóvil esto no es necesario.

5.4.2.1. Detectores por ionización

Estos detectores funcionan ionizando partículas de N_2 y O_2 del aire mediante una fuente de radioactividad (Americio 241) entre dos electrodos. Se aplica un campo eléctrico entre los electrodos y de esta forma se establece un flujo de corriente eléctrica entre estos formado por las moléculas ionizadas.

En caso de incendio las partículas de humo disminuyen la movilidad de las moléculas ionizadas y disminuye la corriente y se activa la alarma.

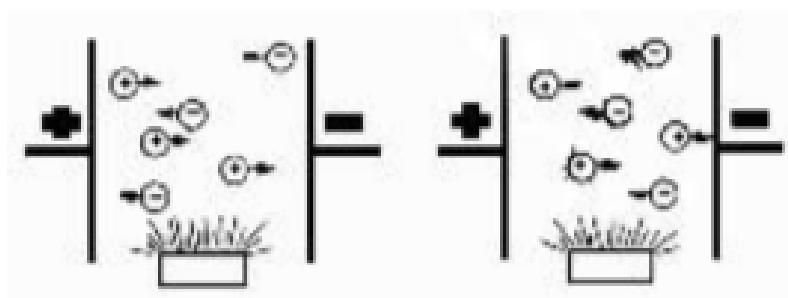


Figura 5.6. Principio de funcionamiento de los detectores de humo por ionización. [39]

Entre las ventajas de estos detectores están su gran sensibilidad ante fuegos latentes y de llama viva y su precio bajo. Sin embargo, pueden dar muchas falsas alarmas y su contenido de material radioactivo, aunque mínimo, genera problemas al final de su vida útil.

5.4.2.2. Detectores ópticos

Dentro de los detectores ópticos analizamos dos tipos. En la Fig. 5.7. se observa como uno de los detectores ópticos funciona emitiendo una luz que recibe un receptor de luz, *light catcher*, que evita que se refleje la luz, en caso de incendio el humo reflejaría la luz en la célula fotoeléctrica perpendicular al haz de luz. Este sistema es barato y robusto, pero es menos sensible a las pequeñas partículas producidas en un fuego vivo y los humos muy oscuros, pues estos no reflejan tanto la luz.

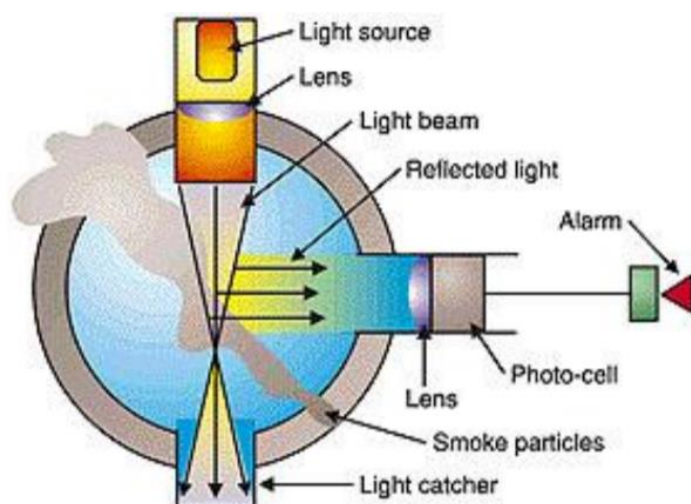


Figura 5.7. Funcionamiento de un detector de humo óptico. [35]

Por otro lado, están los detectores como los de la Fig. 5.8. que constan de una fuente de luz infrarroja y de un sensor infrarrojo. Cuando el humo pasa entre ambos el sensor detecta la caída de luz que le llega. Este detector necesita estar protegido de otras fuentes

de luz y está destinado a espacios muy amplios. Por lo que no es el ideal para la aplicación estudiada.

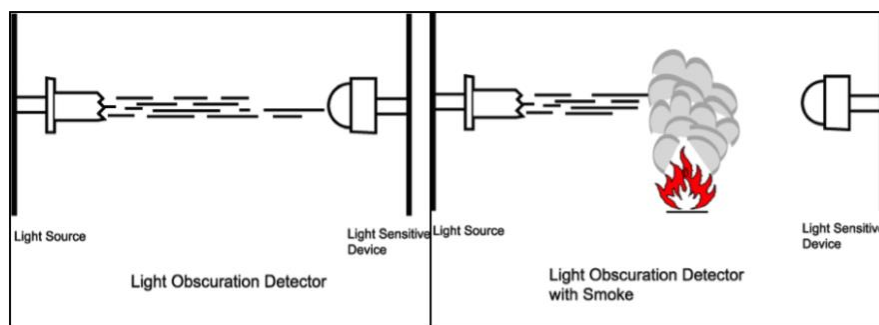


Figura 5.8. Funcionamiento de un detector de humo de caída de luz. [35]

5.4.3. Detectores de gas

Los detectores de gas aplicados a la detección de incendios tratan de detectar los gases producto de la combustión, como monóxido de carbono e hidrocarburos.

Dentro de los detectores de gas existen diferentes tecnologías, las más utilizadas son, los detectores catalíticos y los electroquímicos, pero a pesar de ser baratos tienen poca vida útil o necesitan mucho mantenimiento (venenos catalíticos, contaminación).

Por eso vamos a analizar los detectores de gas infrarrojos. Estos detectores pueden ser puntuales o tipo línea (Fig. 5.4.). Esta tecnología se basa en que algunos gases tienen bandas de absorción en el infrarrojo y el detector podrá medir esta diferencia de IR enviado y recibido y dará la señal de alarma.

Estos detectores son más robustos que los demás detectores de gas, pero también más caros.

5.4.4. Detectores de llama

Estos detectores detectan la radiación emitida por las llamas y que cubre el espectro ultravioleta, visible e invisible. Pueden ser detectores de UV, IR o ambos.

Estos detectores son muy rápidos en casa de que exista llama y son capaces de controlar (vigilar) un volumen, pero no son capaces de detectar fuegos latentes y dan muchas falsas alarmas. El hecho de no poder detectar fuegos latentes los excluye de poder funcionar en solitario según la norma UNE 23007-14. Norma de obligado cumplimiento ya que se encuentra recogida en el R.D. 513/2017.

En el capítulo 6, Solución, se elegirán los sensores adecuados de los vistos para el trabajo, tanto para el habitáculo como para el compartimento del motor.

6. SOLUCIÓN

En este capítulo elegiremos las opciones más adecuadas para este trabajo entre las opciones propuestas en el capítulo anterior (estado de la técnica), plantearemos el sistema y finalmente, suponiendo las características de un automóvil estándar, calcularemos los parámetros básicos del sistema.

6.1. Agente extintor elegido

Como agente extintor para el sistema se ha elegido el **agua nebulizada**. Como se vio en el capítulo anterior, el agua nebulizada es un agente extintor idóneo para inundar zonas ocupadas debido a que no es tóxico, no desplaza el oxígeno, limpia el aire de partículas tóxicas de la combustión y es ecológico.

No tendremos en cuenta los vehículos eléctricos cuyos sistemas de extinción deberían ser de polvo clase D, como ya se vio en el capítulo anterior, al menos en el compartimento de las baterías. De ninguna forma en el habitáculo de pasajeros.

Las normas más importantes referentes a la extinción con agua nebulizada son la **NFPA 750** de la asociación americana de protección contra incendios y la **UNE-CEN/TS 14972:2014** (*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de agua nebulizada. Diseño e instalación*). La definición de lo que es el *water mist* depende de si tenemos como referencia la NFPA 750 o la UNE-CEN/TS 14972:2014.

Para la NFPA el agua nebulizada o *water mist* es un sistema de extinción de incendios en el que el diámetro de la gota $D_{V0.99}$ es inferior a 1000 μm a la presión mínima de trabajo en la boquilla. Es decir, el 99% del volumen de agua se divide en gotas de un diámetro inferior a 1 mm para la presión mínima de trabajo.

Para la UNE-CEN/TS 14972:2014 el agua nebulizada o *watermist* el 90% del volumen total de líquido ($D_{V0.90}$) se divide en gotas de un diámetro inferior a 1mm a la presión mínima de trabajo.

En España, el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios aprobado a través del Real Decreto 513/2017 establece que los sistemas de agua nebulizada estarán diseñados conforme a la norma UNE-CEN/TS 14972.

Esta normativa establece algunos requisitos de diseño para este tipo de sistemas, pero su principal función es verificar la eficacia del sistema. Es decir, al estar orientados estos sistemas para lugares muy diversos con parámetros de diseño muy diferentes la normativa lo que pretende es que se pruebe la eficacia del sistema mediante protocolos de ensayo realizados por entidades certificadoras.



Figura 6.1. Boquilla nebulizadora de un sistema de agua nebulizada. [42]

El tamaño de gota de este sistema es clave en su eficacia, un menor tamaño de gota implica:

- incremento del área de transferencia de calor
- incremento del tiempo en el que la gota se mantiene en el ambiente
- permite un enfriamiento más rápido por evaporación de la gota

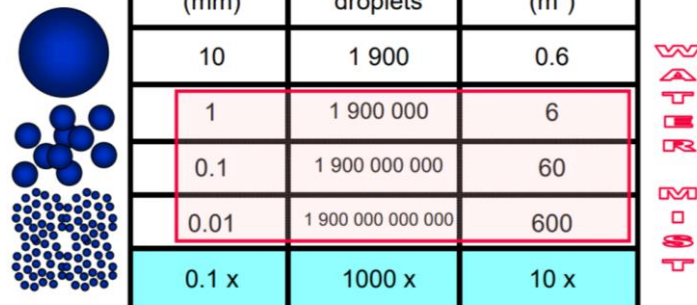
Sin embargo, un menor tamaño de gota no significa que va a ser mejor siempre. Para estos sistemas las normas nos obligan a hacer ensayos y elegiremos un diseño u otro según la eficacia probada en estos ensayos realizados por entidades acreditadas. Estos sistemas necesitan certificados de ensayo emitido por entidades certificadoras.



Figura 6.2. Actuación del agua nebulizada. [43]

En la Fig. 6.2. se observa como actúa el agua nebulizada. Por un lado las gotas absorben calor del fuego, por otro lado se enfria el combustible y ,por último, la evaporación de las gotas de agua desplaza el oxígeno y reduce su concentración en los alrededores del fuego sin llegar a concentraciones peligrosas para los ocupantes del vehículo.

Tabla 6.1. Número de gotas, superficie cubierta para cada tamaño de gota por 1 L de agua. [44]



Droplet size (mm)	Number of droplets	Surface area (m ²)
10	1 900	0.6
1	1 900 000	6
0.1	1 900 000 000	60
0.01	1 900 000 000 000	600
0.1 x	1000 x	10 x

En la Tabla 6.1. se observa la relación entre el tamaño de gota y la superficie que abarca por cada litro de agua descargada, sombreado en rojo los tamaños de gota que se consideran *water mist*.

6.1.1. Características de sistema de agua nebulizada

Una vez que se han definido las características básicas de la técnica de extinción con agua nebulizada se procede a exponer cuales son las características de estos sistemas. Como la norma europea no está disponible gratuitamente, usaré la norma americana (NFPA 750). Se van a utilizar las definiciones recogidas en la norma NFPA 750 de 2019.

Se pueden distinguir distintos tipos de sistemas de agua nebulizada en función de su aplicación:

- Sistemas de aplicación local: centrados en un objeto de riesgo
- Sistemas de aplicación en la totalidad del compartimento: protección completa de un recinto o espacio.
- Sistemas de aplicación zonificada: el sistema está dividido en áreas de aplicación que pueden activarse de forma independiente.
- Sistemas de protección de una ocupación: usan boquillas automáticas, protegen un edificio.

Tipos de boquilla:

- Automáticas: estas boquillas nebulizadoras tienen un budo de cristal termosensible que se rompe al llegar a una temperatura indicada, abriendo así la boquilla y permitiendo la salida del agua.
- No automáticas (abiertas): no tienen bulbo, permanecen siempre abiertas.

Requisitos del sistema:

- Sistemas de diluvio: emplean boquillas abiertas adosadas a la red de tuberías y conectadas a una válvula que se abre en caso de que un sistema de detección detecte un incendio.

- Sistemas de tubería húmeda: este sistema emplea boquillas automáticas adosadas a una red de tuberías con agua presurizada hasta las boquillas.
- Sistemas de tubería seca: utilizan boquillas automáticas pero el agua presurizada no llega a las boquillas, sino que está tras una válvula que se abrirá tras detectar la pérdida de presión debida a la rotura del bulbo de la boquilla.
- Sistemas de acción previa: la diferencia con los sistemas de tubería seca es que tiene un sistema de detección independiente que abre la válvula de agua en caso de incendio.

Además, se debe añadir que el agua proyectada puede llevar aditivos con diferentes fines como mejorar la capacidad de extinción, evitar la congelación, etc.

Recopilando. Un sistema de agua nebulizada debe tener entonces:

- Un sistema de alimentación (agua) en el que se debe tener en cuenta si se necesita presurización y de que tipo.
- Red de tuberías que distribuyan el agua y que soporten la presión del sistema, no menos de 12,1 bar.
- Difusores de descarga (boquillas) que como se ha visto previamente pueden ser de varios tipos.

Dentro de los sistemas presurizados, estos pueden trabajar a diferentes presiones según la norma NFPA 750:

- Sistemas de presión baja ($\leq 12,1$ bar)
- Sistemas de presión intermedia (entre 12,1 y 34,5 bar)
- Sistemas de presión alta ($\geq 34,5$ bar)

6.2. Descripción del sistema de EXTINCIÓN

En el epígrafe anterior se explicaron los tipos y características de los sistemas de agua nebulizada. En este epígrafe elegiremos las características del sistema teniendo en cuenta la aplicación estudiada.

El sistema implantado en un turismo sería un sistema de aplicación en la totalidad del compartimento, en nuestro caso de dos compartimentos (motor y habitáculo de pasajeros) debido a que se quieren proteger ambos compartimentos en su totalidad. También entraría dentro de la categoría de sistema de diluvio. Porque el sistema actuaría tras la detección de un incendio por parte del sistema de detección de nuestro vehículo y las tuberías no estarían presurizadas constantemente, solo en el momento de la actuación. Este sistema es el que utilizan los sistemas de extinción por agua nebulizada usados para autobuses.

La elección de un sistema de diluvio implica la utilización de boquillas abiertas (no automáticas). La detección se hace en un sistema independiente luego no necesitamos la detección del bulbo termosensible de las boquillas cerradas y el agua no llega a las boquillas hasta que no es necesaria la actuación del sistema.



Figura 6.3. Acumulador de un sistema de agua nebulizada. [45]



Figura 6.4. Equipo de bombeo eléctrico para un sistema de agua nebulizada. [45]



Figura 6.5. Sección transversal de un depósito de agente extintor del sistema FOGMAKER, acumulador de pistón. [46]

Como hemos elegido un sistema de diluvio en el que las tuberías del sistema están secas y no están presurizadas cuando el sistema no está funcionando, debemos incorporar un sistema que suministre agua a una presión óptima para la nebulización en las boquillas.

Los sistemas de agua nebulizada pueden usar equipos de bombeo (Fig. 6.4.) o acumuladores (Fig. 6.3 y Fig. 6.5.) para conseguir la presión adecuada en las boquillas nebulizadoras. En un sistema de agua nebulizada para un automóvil lo adecuado, debido al coste, a la falta de espacio y a las pequeñas distancias que recorrerá el fluido (pocas pérdidas) será un depósito presurizado con N₂ como el de la figura 6.5. Cuando el sistema se dispara el nitrógeno empuja el fluido extintor.

Las tuberías del sistema podrían ser de acero inoxidable AISI 316L (recomendado por la norma NFPA 750), este es un acero muy resistente a la corrosión y adecuado según la norma para este tipo de sistemas. Para su instalación no se necesitan codos, fácil doblarlo para adaptarlo a la forma requerida, la maquinaria y límites de radio de flexión vienen definidos en la norma. No se necesitan soldaduras.

6.2.1. Características del sistema para un turismo estándar

Un sistema como el planteado no podría ser universal, cada modelo de automóvil tiene unas dimensiones específicas, un volumen de habitáculo distinto y una disposición mecánica distinta. Por ello supondremos unas medidas estándar.

Como se dijo en capítulos anteriores, los sistemas de agua nebulizada necesitan pasar una serie de ensayos de extinción hechos por entidades acreditadoras. Se utilizarán las fórmulas usadas por el fabricante FOGMAKER para su sistema de extinción por agua nebulizado certificado para la Reglamentación 107 de la CEPE. La Asociación Nacional de Fabricantes de Carrocerías de Autobuses (ASCABUS) informó de que, al menos en España, es el único sistema de extinción por agua nebulizada que se instala en autobuses.

Para conseguir la certificación para el Reglamento 107 este sistema tuvo que pasar cuatro pruebas, **SP method 4912** [47].

Se dimensionará el sistema para un turismo estándar. Se aproximarán estas cifras:

Compartimento del motor: $<1\text{m}^3$

Habitáculo de pasajeros: 3 m^3

Supondremos para los cálculos que tenemos un único recinto con un volumen que es la suma de el volumen del compartimento del motor y el habitáculo de los ocupantes.

Utilizaremos las fórmulas de cálculo de volumen de agente extintor y número de boquillas que proporciona el fabricante FOGMAKER [48]. Con los parámetros calculados con estas fórmulas el sistema de agua nebulizada diseñado debería superar las pruebas del SP method 4912.

Volumen mínimo de extintor:

- $Vol_{compartimentos}(x) > 4\text{ m}^3: Vol_{extinto} = ([0,1 \cdot X] + 0,6) \cdot 6,1$
- $Vol_{compartimentos}(x) < 4\text{ m}^3: Vol_{extinto} = ([0,15 \cdot X] + 0,4) \cdot 6,1$

Número de boquillas:

- $Volcompartimentos (x) > 4 m^3$: Boquillas = $([0,1 \cdot X] + 0,6) \cdot 11$
- $Volcompartimentos (x) < 4 m^3$: Boquillas = $([0,15 \cdot X] + 0,6) \cdot 11$

En la aplicación estudiada tenemos dos compartimentos cuya suma aproximaremos a $4 m^3$, luego **nuestro sistema deberá tener un depósito con 6,1 l de agua y 11 boquillas de nebulización**, debemos repartirlas en los compartimentos según su volumen.

Tabla 6.2. Peso (en libras) del acumulador de pistón en función de la cantidad de fluido extintor. [49]

Single Piston Accumulator

Product name	Universal 3.3 l	Universal 4 l	Universal 6.5 l	Universal 7.5 l
Filled Piston Accumulator weight (lb)	23	26	38	42
Volume suppressant fluid approx.	3	3.5	6.3	7

Double Piston Accumulators

Product name	Universal 6 l	Universal 8 l	Universal 13 l	Universal 14 l
Filled Piston Accumulator weight (lb)	46	52	76	84
Volume suppressant fluid approx.	6	7	12.6	14

Triple Piston Accumulators

Product name	Universal 12 l	Universal 11 l	Universal 19 l	Universal 21 l
Filled Piston Accumulator weight (lb)	46	78	114	126
Volume suppressant fluid approx.	12	10.5	18.9	21

Tabla 6.3. Características del acumulador de pistón. [49]

Common technical data:

Material

Container	Extruded high resistant aluminum AA 6061 – T6
Mounting brackets	Aluminum, straps of stainless steel
Valve	Brass, pertaining components of stainless steel
Anodizing	Min 20 μm , all aluminum parts

Other specifications

Ambient temperature container	Min. $-30^{\circ}C$ ($-22^{\circ}F$) Max. 65° ($149^{\circ}F$)
Suppressant fluid	Water, frost protection, film-former
Frost protection temperature	Standard to $-30^{\circ}C$ (if not other ordered)
Propellant	Nitrogen
Test pressure cylinder	190 bars
Charging pressure	(approx.) 65 bars at $22^{\circ}C$

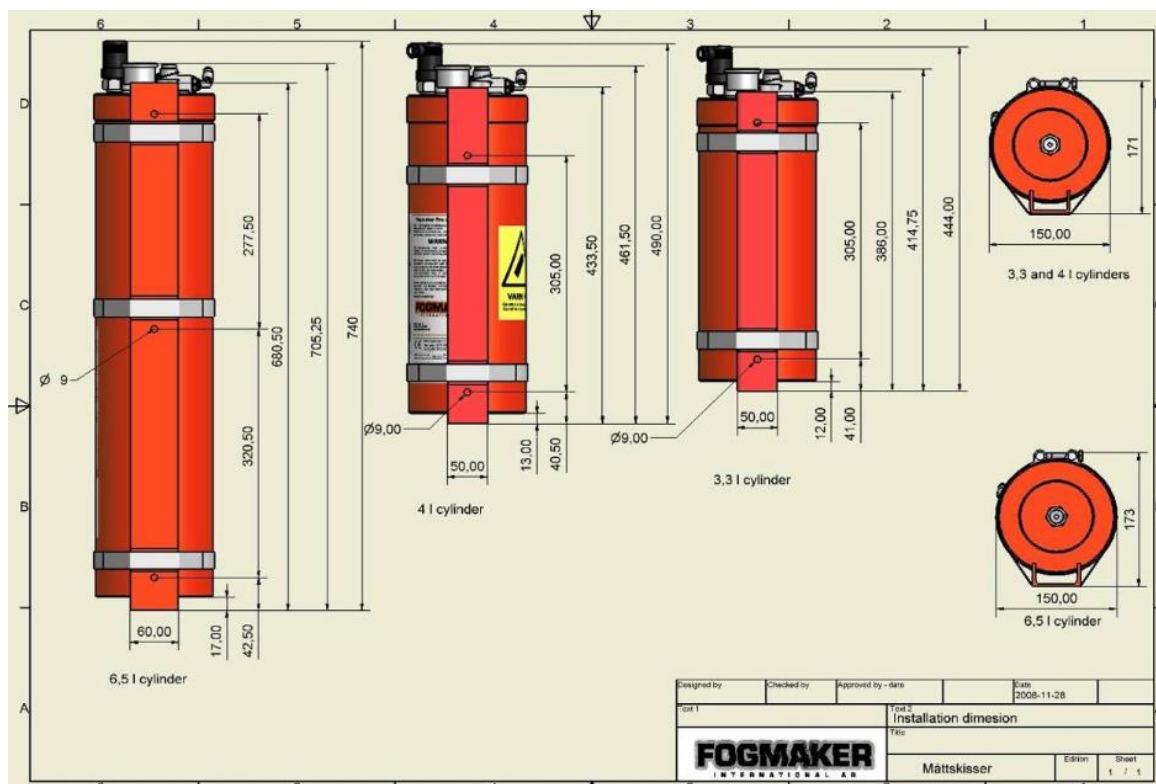


Figura 6.6. Dimensiones del acumulador de pistón. [49]

El acumulador de pistón, el depósito de agente extintor presurizado con nitrógeno, que elegimos es el Universal 6,5L, porque necesitamos al menos 6,1 L. Tiene un peso de 38 libras (Tabla 6.2.), **17,24 kg**. Las medidas del acumulador (Fig. 6.6.) son **740 mm de largo máximo** y **150 mm de diámetro**. Con este peso y medidas la incorporación de un sistema así en un turismo estándar es perfectamente posible.

El depósito del sistema de ejemplo está presurizado a 65 bar a 22 °C (Tabla 6.3.).




A este peso habría que añadirle las tuberías de acero inoxidable sin soldadura AISI 316L scheme 40s 13,72 mm de radio exterior y 2,24 mm con un peso de **0,64 kg/m**. Además de accesorios como las uniones de las tuberías a las boquillas de 1/4" (conexión macho-hembra con la boquilla nebulizadora), y los accesorios (T, codos, tuercas, etc.) que fuesen necesarios para ajustar el sistema a la geometría del vehículo.

Si serán necesarios accesorios como una T, para dividir el circuito en dos partes, y conexiones macho para unir las boquillas nebulizadoras con las tuberías.

6.2.1.1. Elección boquilla nebulizadora

En este epígrafe se va a elegir la boquilla nebulizadora adecuada para nuestro sistema. Como se vio en los epígrafes dedicado a la tecnología de agua nebulizada (*water mist*) la clave de estos sistemas está en el tamaño de gota.

Tabla 6.4. Relación entre el tamaño de gota de un sistema de agua nebulizada y la capacidad de refrigeración. [50]

		Nº de gotas	Tamaño gota (promedio)	Superficie	Vaporización
	Rocíador convencional	1	>1000 µm	1	1 s.
	Niebla Baja y Media Presión	40	300 µm	10	0.1 s.
	HI-FOG	8000	50 µm	400	0.003 s.
<p>Superficie refrigeración muy grande</p> <p>Vaporización muy rápida</p>					

En la Tabla 6.4. se explica como a menor tamaño de gota la vaporización es más rápida, es decir se produce un enfriamiento más rápido del incendio.


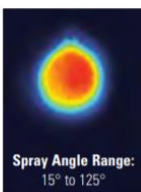


En el sistema de estudio se quiere elegir una boquilla que consiga un tamaño de gota entre 10-100 µm puesto que al tener una cantidad limitada de espacio para almacenar fluido extintor se necesita que ese fluido maximice sus propiedades de extinción.

Para la elección de la boquilla usaremos el catálogo de la empresa Spraying Systems Co.

Existen varios parámetros importantes para la elección de una boquilla nebulizadora adecuada.

- Presión (bar): los datos tabulados sobre la boquilla serán a la presión indicada.
- Flujo (l/min): caudal de agua que fluye por la boquilla.
- Forma de spray: full cone (cono relleno), hollow cone (cono hueco), flat (plano), etc.
- Tamaño de gota.
- Ángulo de spray.
- Diámetro conexión: necesario para accesorio de conexión con la red de tuberías.
- Tipo de conexión: macho o hembra.

Tabla 6.5. Ejemplo de dos formas de spray usadas en la protección contra incendios y el campo de aplicación recomendado por el fabricante. [51]

	<ul style="list-style-type: none"> • Uses a unique internal vane design to produce a solid cone-shaped spray pattern • Spray pattern consists of medium- to large-sized drops 	Typical applications: <ul style="list-style-type: none"> • Chemical injection • Dust suppression • Fire protection • Metal cooling • Washing/rinsing 	 <p>Spray Angle Range: 15° to 125°</p>
	<p>HOLLOW CONE (WHIRLCHAMBER-TYPE) NOZZLES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uses a whirlchamber to rotate the fluid and produce a circular spray pattern • Ideal for use when a combination of small drop size and higher capacity is needed 	Typical applications: <ul style="list-style-type: none"> • Air, gas and water cooling • Cooling products on conveyors • Dust control • Flue gas desulfurization (FGD) • Water aeration 	 <p>Spray Angle Range: 40° to 165°</p>

Se elige una boquilla nebulizadora con forma hollow cone (cono hueco), esta es junto con la forma full cone (cono lleno) que más se usa en la aplicación contra incendios y está además recomendada por el fabricante para esa función (Tabla. 6.5.). Elegimos también una presión de 35 bar que nos proporcionará un tamaño de gota de entre 10 y 100 μm y un flujo de 81 lph (1,35 lpm) según el fabricante. Conexión de 1/4 de pulgada, el ángulo de spray a 20 bar es de 81 grados. Fabricada en acero inoxidable AISI 303.

Tabla 6.6. Tabla de características para boquillas nebulizadoras modelo UniJet Tip TN [51]

UNIJET® NOZZLES

S

STANDARD ANGLE SPRAY

HOLLOW CONE

S

PERFORMANCE DATA:

STANDARD ANGLE SPRAY

Body Inlet Conn. (in.)	UniJet Tip Type	Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (mm)	Core No.	Flow Rate Capacity (liters per hour)										Spray Angle (°)		
	TN				2 bar	3 bar	4 bar	7 bar	15 bar	20 bar	35 bar	45 bar	80 bar	3 bar	6 bar	20 bar	
1/4	•	.30	.41	106	—	—	—	—	—	—	3.1	4.0	4.6	6.1	—	—	51
	•	.40	.41	108	—	—	—	—	—	—	4.1	5.4	6.1	8.2	—	—	58
	•	.60	.41	206	—	—	—	3.6	5.3	6.1	8.1	9.2	12.2	—	35	65	
	•	1	.51	210	—	3.9	4.6	6.0	8.8	10.2	13.5	15.3	20	45	62	72	
	•	1.5	.51	216	4.8	5.9	6.8	9.0	13.2	15.3	20	23	31	65	70	72	
	•	2	.71	216	6.4	7.9	9.1	12.1	17.7	20	27	31	41	70	75	77	
	•	3	.71	220	9.7	11.8	13.7	18.1	26	31	40	46	61	65	70	73	
	•	4	1.1	220	12.9	15.8	18.2	24	35	41	54	61	82	72	81	84	
	•	6	1.1	225	19.3	24	27	36	53	61	81	92	122	73	79	81	
	•	8	1.5	225	26	32	36	48	71	82	108	122	163	85	89	91	
	•	10	1.6	420	32	39	46	60	88	102	135	153	204	82	84	86	
	•	12	1.9	420	39	47	55	72	106	122	162	183	245	78	82	85	
	•	14	1.9	421	45	55	64	84	124	143	189	214	285	85	88	90	
	•	18	1.9	422	58	71	82	109	159	183	243	275	367	81	84	86	
	•	22	1.9	625	71	87	100	133	194	224	297	336	449	70	72	75	
	•	26	2.2	625	84	103	119	157	230	265	351	398	530	73	74	77	

Other body types may be available. Contact your sales engineer for more information.

Highlighted column shows the rated pressure.

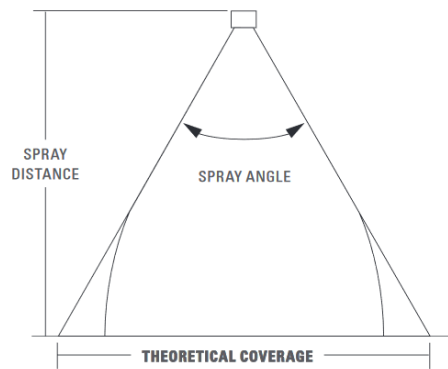
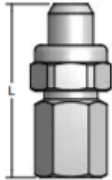
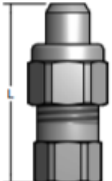


Figura 6.7. Influencia del ángulo de spray en la distancia protegida [51]

En la Tabla 6.7. se observan las medidas físicas de la boquilla (T(F)+TN TT(M)+TN).

Tabla 6.7. Características constructivas de la boquilla nebulizadora [51]

Nozzle	Nozzle Type	Inlet Conn. (in.)	L (mm)	Hex. (in.)	Net Weight (kg)
	T (F) + TN TT (M) + TN	1/4	48.4	13/16	0.07
	T (F) + TN-SSTC TT (M) + TN-SSTC	1/4	48.4	13/16	0.07
	11430 (F) + TN-SSTC	1/4	49.2	13/16	0.07

Boquilla nebulizadora elegida en el catálogo: T(F)-1/4 -SS-50+TN-SS-6

6.2.2. Pérdidas de carga

En estos sistemas es de gran importancia el cálculo de las pérdidas de carga. La norma NFPA 750 en su capítulo 11 "Cálculos" expone cuales son las fórmulas que se deben usar. En este epígrafe se expondrán las fórmulas para unidades del sistema internacional.

Para sistemas de agua nebulizada de presión baja se usa el método de cálculo de **Hazen-Williams** (1).

$$P \left(\frac{\text{bar}}{\text{m}} \right) = 6,05 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} \cdot 10^5 \quad (1)$$

C es el coeficiente de fricción de Hazen-Williams y depende del material de las tuberías y del acabado superficial interior de estas.

En este trabajo, sin embargo, se deberá usar la ecuación de **Darcy-Weisbach** pues se trata de un sistema de alta presión:

$$\Delta P = 2,252 \frac{f L \rho Q^2}{D^5} \quad (2)$$

Número de Reynolds

$$Re = 21,22 \frac{Q \rho}{D \mu} \quad (3)$$

$\Delta P = \text{pérdida de carga [bar]}$

$L = \text{longitud tubería [m]}$

$f = \text{factor de fricción } [\frac{\text{bar}}{\text{m}}]$

$Q = \text{caudal } [\frac{\text{l}}{\text{min}}]$

$D = \text{diámetro interior tubería [mm]}$

$\rho = \text{densidad del fluido } [\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]$

$\epsilon = \text{rugosidad tubería [mm]}$

$\mu = \text{viscosidad}$

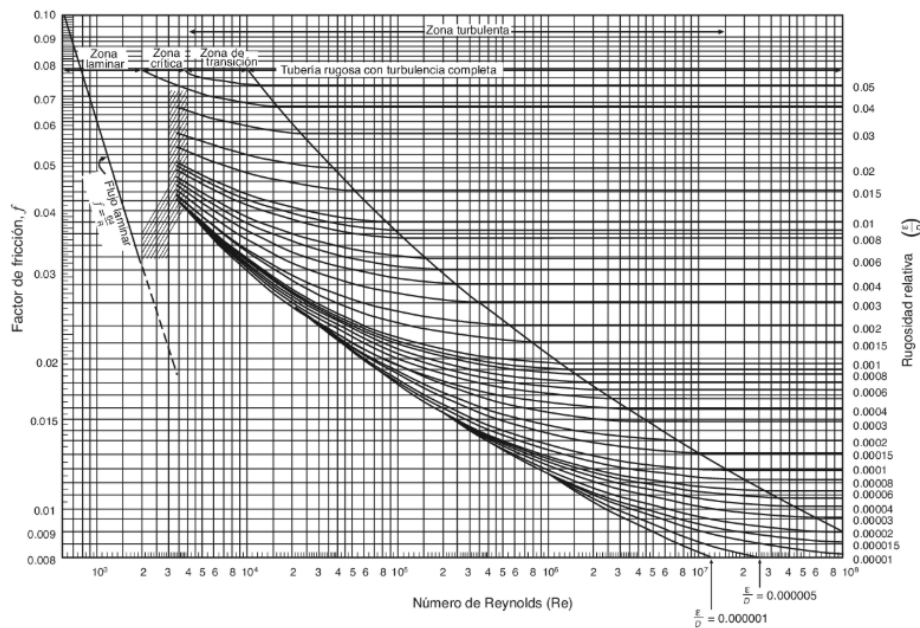


Figura 6.8. Diagrama de Moody

Con la siguiente fórmula se puede calcular el consumo de agua de la boquilla sabiendo el coeficiente K, proporcionado por el fabricante:

$$C = K \cdot \sqrt{P} \quad (4)$$

C : consumo boquilla $\left[\frac{l}{min}\right]$

K : coeficiente de consumo de la boquilla $\left[\frac{l}{min \cdot \sqrt{bar}}\right]$

P : presión en la boquilla [bar]

Para dimensionar el sistema correctamente se deberá fijar el valor de presión que necesitamos en la para una nebulización correcta en la boquilla más desfavorable (la más alejada), en el catálogo que se utiliza no se facilita el valor de K (coeficiente de consumo de la boquilla) pero si el consumo en litros por minuto a 35 bar. Luego ya se tendría el caudal en el último tramo. De no ser así se usaría la ecuación número 4 para la K del fabricante y la P de la boquilla.

Posteriormente se calcularía por tramos las pérdidas hasta llegar hasta el acumulador. Las pérdidas se calculan con la fórmula de Darcy- Weisbach (2), el caudal que circula por ese tramo (depende de las boquillas del tramo calculado). El factor de fricción se saca del diagrama de Moody y el cálculo del número de Reynolds (3). Otros factores como la viscosidad y la densidad del agua dependen de la temperatura. La rugosidad de la tubería

(ϵ) de acero inoxidable puede proporcionarla el fabricante, en la norma NFPA 750 se toma como 0.0451 mm.

Una vez realizados estos cálculos se comprobará si la presión resultante al inicio del circuito y es mayor que la dimensionada inicialmente. Si fuese así se debería recalcular.

6.3. Sistema de DETECCIÓN

En el capítulo anterior se presentaron las opciones de sensores de detección para el sistema. Como el sistema diseño pretende actuar en dos recintos diferenciados, habitáculo y compartimento del motor, cuyas características son muy diferentes dividiremos este epígrafe en dos.

6.3.1. Compartimento del motor / baterías

En el compartimento del motor las condiciones son muy cambiantes, se pueden llegar a alcanzar temperaturas muy altas, pero también muy bajas cuando el motor no está funcionando. Además de polvo, humo, contaminación, vibraciones, etc. Se necesita un sensor muy robusto que sea capaz de resistir estas situaciones y que tenga una gran fiabilidad pues como se ha visto en capítulos anteriores el motor es el lugar donde más probabilidades existen de que se origine un incendio.

Un sensor de humo en este compartimento no sería adecuado debido a las condiciones ambientales de gases y polvo, que podrían originar falsas alarmas. Los sensores de llama no se pueden instalar en solitario, como se expuso en el epígrafe 5.4.4. (UNE 23007-14), y se tendría que colocar en una posición en la que tuviese visión de todo el espacio del motor, lo cual es complicado en la zona del motor. Los sensores de gas ya se descartaron en el capítulo anterior por su fragilidad y vida útil.

Se elegirá un sensor de calor, es el más adecuado para la aplicación es un cable detector de incendios. Willstrand *et al.* [28] llegan a la conclusión de que los sensores de calor son los más adecuados para los compartimentos del motor de vehículos pesados debido a su robustez ante las condiciones extremas del motor. En la conclusión de este informe también se apunta a que los sensores de tipo línea son más adecuados que los puntuales puesto que los flujos de aire en el motor pueden dificultar la detección y los sensores lineales tienen la ventaja frente a los puntuales de cubrir varios puntos con el mismo sensor.

El sensor de calor lineal que se propone en este trabajo consiste en dos conductores metálicos recubiertos de una cubierta polimérica que funde a una temperatura determinada. Cuando la cubierta polimérica funde ambos conductores entran en contacto produciéndose un cortocircuito que da la señal de alarma. En un sistema muy barato, fácil de reponer y robusto.

Se instalaría recorriendo todo el compartimento del motor y después se conectaría a través de un cable a nuestro ordenador de control (central). Simplemente habría que elegir la temperatura a la que debería dar la alarma, lo cual podría depender del modelo de

automóvil (condiciones de trabajo del motor) y entraría dentro de las pruebas que haría el fabricante.

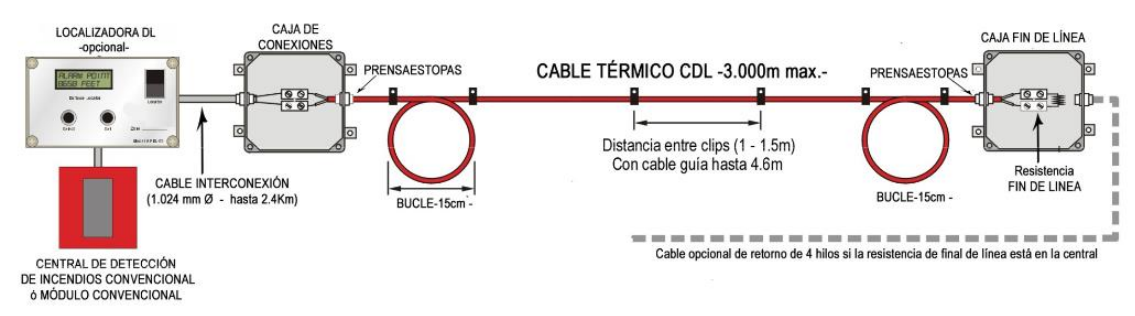


Figura 6.9. Esquema de conexión de un sensor térmico de cable. [52]

almacenes, maquinaria...
Modelos "M" con fiador externo de acero para facilidad de instalación.
Diámetro 4mm.
Homologaciones UL y FM.
Área de cobertura extendida hasta 15,2 metros.
Presentación en bobinas de 152 metros. Otras distancias mediante "corte especial" de coste: 60€ por bobina o carrete, hasta un máximo de 1000 metros.

68°C

88°C

138°C

180°C

Cable detector tipo EPC
Cobertura exterior de vinilo. Idóneo para aplicaciones generales. resistente a polvo, humedad, suciedad y agresivos químicos comunes.

Temperatura de alarma (°C)	68	88	138	180
Máxima temperatura ambiente (°C)	37,8	65,6	93,3	105/121,1

T alarma	Referencia
68 °C	AEC-EPC68
68 °C con cable fiador	AEC-EPC68M
88°C	AEC-EPC88
88°C con cable fiador	AEC-EPC88M
105°C	AEC-EPC105
105°C con cable fiador	AEC-EPC105M
138 °C	AEC-EPC138
138 °C con cable fiador	AEC-EPC138M
180 °C	AEC-EPC180
180 °C con cable fiador	AEC-EPC180M

Figura 6.10. Modelos de cable detector según su temperatura de alarma [53]

6.3.2. Habitáculo de pasajeros

En el habitáculo de pasajeros se instalaría otro tipo de sensor, pues las condiciones de trabajo de un sensor en el habitáculo de pasajeros son muy diferentes a las del compartimento del motor.

Al ser el habitáculo un recinto con materiales que pueden tener una combustión latente como el poliuretano de los asientos (ver Tabla 6.8.).

Tabla 6.8. Plásticos usados en un coche estándar [18]

Plastics used in a typical car		
Component	Main types of plastics	Weight in av. car (kg)
Bumpers	PP, ABS, PC/PBT	10.0
Seating	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13.0
Dashboard	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7.0
Fuel systems	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6.0
Body (incl. panels)	PP, PPE, UP	6.0
Under-bonnet components	PA, PP, PBT	9.0
Interior trim	PP, ABS, PET, POM, PVC	20.0
Electrical components	PP, PE, PBT, PA, PVC	7.0
Exterior trim	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4.0
Lighting	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5.0
Upholstery	PVC, PUR, PP, PE	8.0
Liquid reservoirs	PP, PE, PA	1.0
Total		105.0

En el habitáculo existen materiales que pueden tener una combustión latente como el poliuretano (PUR) poroso de los asientos (ver Tabla 6.8.). Y, como ya se vio en el capítulo anterior (Fig. 5.3.), los sensores de humo son los más rápidos en detectar este tipo de incendios.

Esta elección está apoyada en las conclusiones de Willstrand *et al.* [36]. En este informe los sensores de humo siempre fueron más rápidos que los sensores de calor, y en condiciones de incendio latente esta ventaja se hacía aún mayor.

Por lo tanto, se colocaría un detector de humos en el techo del habitáculo de pasajeros del automóvil.

6.4.Descripción del sistema y su funcionamiento

6.4.1. Sistema de detección

El sistema planteado en este trabajo sería un sistema que actuase en caso de que se produjese un incendio en el vehículo tras una colisión. Por lo tanto, este sistema debería contar con una centralita que recibiese las señales del sensor de humo del habitáculo de pasajeros, la del sensor térmico de cable del compartimento del motor y que recibiese también información de la centralita del airbag para detectar una colisión o vuelco y no redundar los sensores encargados de detectar colisiones.

Uno de los problemas que plantea el diseño de un sistema de extinción de incendios es que los propios automóviles instalan sistemas que desconectan la batería tras un accidente de tráfico para así evitar incendios producidos por cortocircuitos.

El sistema de detección y extinción debería contar con una batería auxiliar para poder así recibir las señales de los sensores y ordenar o no el disparo del sistema de extinción.

6.4.2. Sistema de extinción

Esta centralita, si se cumpliera la condición de que se ha producido una colisión y alguno de los sensores ha dado señal de alarma, enviaría una orden a un actuador eléctrico instalado en el depósito presurizado de agente extintor y dispararía el sistema.

Como se explicó anteriormente, el sistema planteado sería un sistema de diluvio con boquillas nebulizadoras abiertas. Luego, una vez que el actuador eléctrico actúe tras la orden de la centralita el agente extintor se proyectará por todas las boquillas nebulizadoras del sistema. Si la alarma de incendio proviene del motor actuarán todas las boquillas, incluyendo las del habitáculo, y viceversa.

6.4.3. Esquema de funcionamiento del sistema

Aquí se expone un esquema que ayuda a comprender el funcionamiento del sistema planteado. No están representadas las 11 boquillas del sistema para un automóvil estándar.

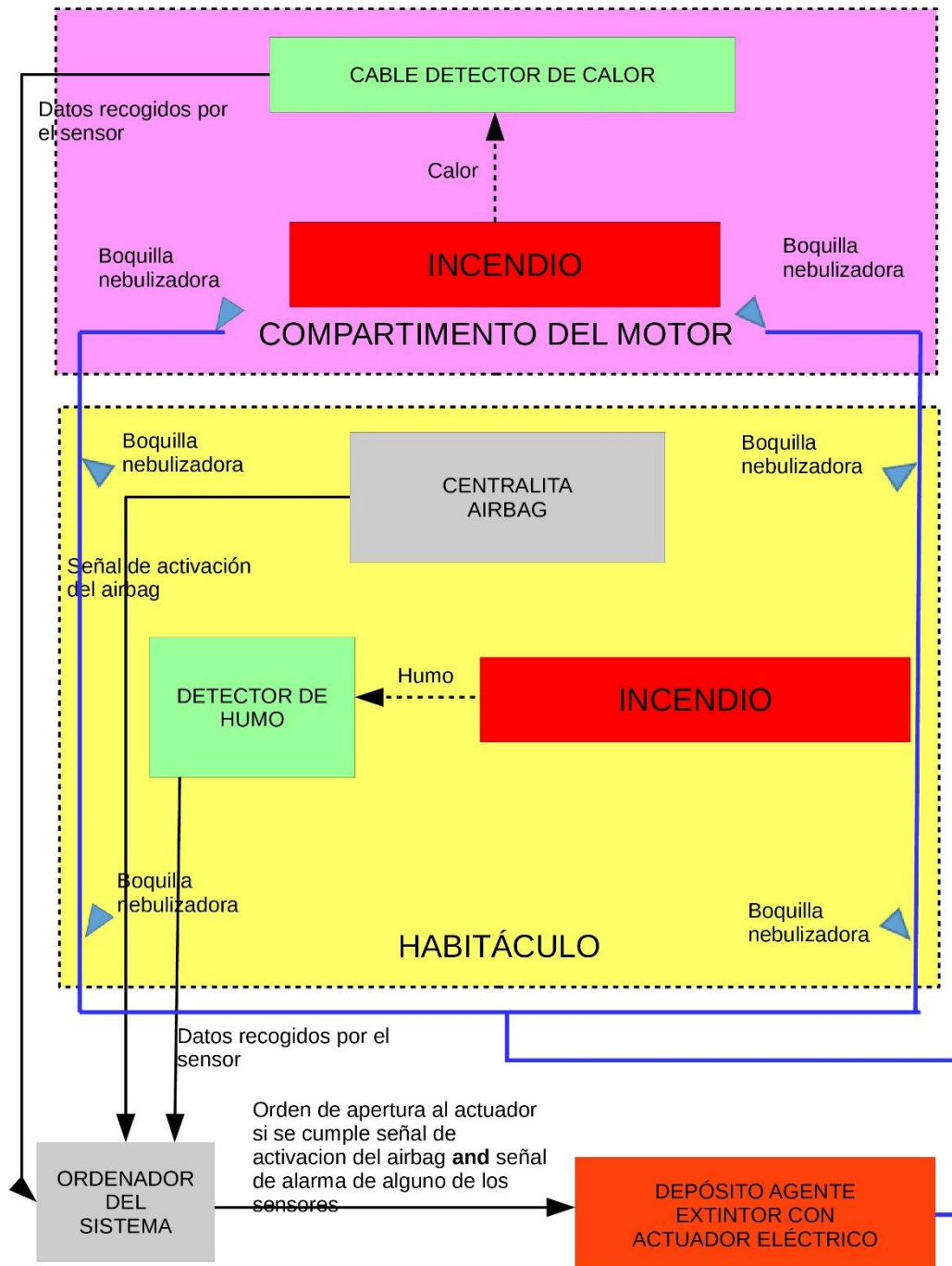


Figura 6.11. Esquema de funcionamiento del sistema.

7. PRESUPUESTO

7.1. Estimación del coste del sistema

Tabla 7.1. Precio (con IVA) sistemas de extinción de incendios instalados en autobuses españoles R-107.

SISTEMA ANTI-INCENDIO DAFO 10 LT	1205,00 €
SISTEMA ANTI-INCENDIO FIRETRACE	900,49 €
SISTEMA ANTI-INCENDIO FOGMAKER KIT BUS 7,5 LT	1103,05 €
SISTEMA ANTI-INCENDIO FOGMAKER KIT BUS 6,5 LT	1.050,08 €
SISTEMA ANTI-INCENDIO DOMINO	1.501,13 €

En la Tabla 7.1. se pueden ver los precios de los distintos sistemas certificados para cumplir la normativa R-107 instalados en los autobuses españoles según la Asociación Nacional de Fabricantes de Carrocerías de Autobuses (ASCABUS). Estos precios se corresponden con el sistema completo.

En el caso estudiado el sistema compatible sería el SISTEMA ANTI-INCENDIO FOGMAKER KIT BUS 6,5 LT de 1.050,08 €. El sistema diseñado es diferente, pues incluye sensores de humo y temperatura y una centralita, pero debido al bajo coste de estos componentes podemos suponer que 1.050,08 € podría ser su precio de instalación en automóviles.

El precio de estos sistemas está condicionado por un mercado muy limitado como de los autobuses, sin embargo, el mercado de la automóvil tiene un volumen mayor. En España el año 2018 se vendieron 3.673 unidades de autobuses por las 1.321.438 unidades de turismos (incluidos todoterrenos) [54]. Es decir, el mercado potencial de estos sistemas para automóviles es más de 300 veces superior al de autobuses.

La diferencia de volumen justificaría una reducción del precio de un sistema como el planteado de al menos un 50-60%. Se podría estimar que el coste del sistema para automóviles, suponiendo una reducción del 60% del coste respecto al de los autobuses sería de **420,03 €** (incluye IVA) de coste para los consumidores.

7.2. Plan de mantenimiento del sistema

Los sistemas de protección frente a incendios necesitan un mantenimiento regular que debe especificar el fabricante. Las condiciones mínimas de mantenimiento de las instalaciones de protección contra incendios están definidas en el ANEXO II

Mantenimiento mínimo de las instalaciones de protección contra incendios del R.D. 513/2017 (Reglamento de instalaciones de protección contra incendios), Tablas I y II.

Como se expuso en el capítulo 3, dedicado al marco regulador, el R.D. 513/2017 está orientado a instalaciones de protección contra incendios en edificaciones. Luego es complicado extrapolar los programas de mantenimiento expuestos a vehículos a motor.

Estimaremos el coste de mantenimiento del sistema planteado en media hora de taller al año lo que se traduce en:

$$70 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 0,5 \cdot 1,21(\text{IVA}) = 42,35 \text{ €/año}$$

7.3. Presupuesto del TFG

7.3.1. Planificación TFG

Tabla 7.2. Planificación de las tareas del TFG

PLANIFICACIÓN				
	ACTIVIDAD	SEMANA DE COMIENZO	SEMANA DE FINALIZACIÓN	DURACIÓN
A	BÚSQUEDA DE RECURSOS	0	2	2
B	ANÁLISIS DE ESTUDIOS, INFORMES Y NORMAS	2	6	4
C	REDACCIÓN CAPÍTULO 1	6	7	1
D	REDACCIÓN CAPÍTULO 2	7	8	1
E	REDACCIÓN CAPÍTULO 3	16	17	1
F	REDACCIÓN CAPÍTULO 4	8	10	2
G	REDACCIÓN CAPÍTULO 5	10	13	3
H	REDACCIÓN CAPÍTULO 6	13	16	3
I	REDACCIÓN CAPÍTULO 7	18	19	1
J	REDACCIÓN CAPÍTULO 8	17	18	1
K	REDACCIÓN CAPÍTULO 9	19	20	1
L	BIBLIOGRAFÍA	20	21	1
M	REVISIÓN	21	22	1

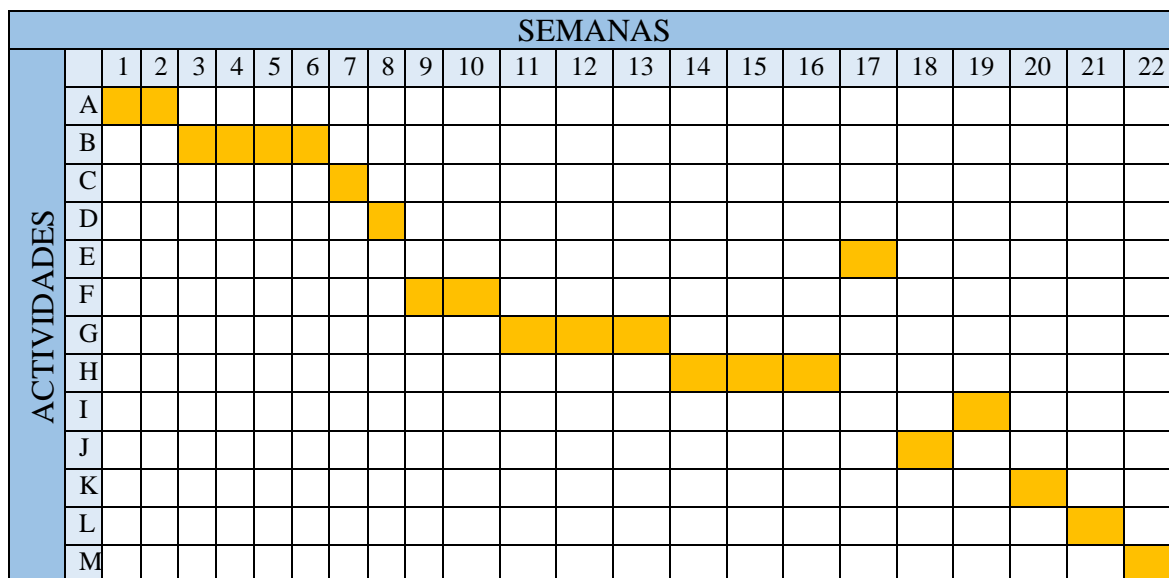


Figura 7.1. Diagrama de Gantt

7.3.2. Costes TFG

La duración de este proyecto ha sido de 22 semanas, se ha estimado que el ingeniero ha trabajado 14 h/semana. Costes de amortización basados en los datos de la Agencia Tributaria. Todos los costes reflejados sin IVA. El coste de personal incluye sueldo bruto más cotizaciones.

Tabla 7.3. Coste de personal del TFG

COSTE DE PERSONAL			
	Duración (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Ingeniero junior	308	24,04	7404,32

Tabla 7.4. Costes de ordenador y software

COSTE ORDENADOR Y SOFTWARE			
	Precio de adquisición (€)	Amortización (€)	Coste (€)
Ordenador portátil	908,26	76,85	76,85
Office 365 uc3m	0,00	0,00	0,00
Bases de datos biblioteca uc3m	0,00	0,00	0,00

Respecto al coste de normas UNE, solo se tendrán en cuenta la norma de diseño de una instalación de protección contra incendios de agua nebulizada. Esta norma está recogida en el RD 513/2017, luego es de obligado cumplimiento en este tipo de proyectos.

Respecto a los equipos de detección, que deben cumplir la norma UNE EN-54, no entran dentro del diseño del trabajo.

En caso de hacer un presupuesto para un vehículo híbrido o eléctrico con equipo de extinción para las baterías se deberían consultar las normas referentes a sistemas de polvo para incendios Clase D, epígrafe 3.2.3.

Tabla 7.5. Coste normas consultadas

COSTE NORMAS UNE	
Norma	Precio (€)
UNE-CEN/TS 14972:2014	79,00
NFPA 750	0,00

Tabla 7.6. Coste total del TFG

COSTE TOTAL DEL TFG	
Concepto	Coste (€)
Coste de personal	7.404,32
Coste equipos y software	76,85
Coste normas UNE	79,00
Total (sin IVA)	7560,17
Total (21% IVA)	9.147,81

8. ENTORNO SOCIOECONÓMICO

Para analizar cuál podría ser el impacto socioeconómico de este sistema utilizaremos el impacto económico que supondría en Suecia, país europeo del que tenemos gran cantidad de datos fiables sobre el tipo de accidentes estudiados en este trabajo.

Debido al carácter de la regulación en materia de homologación de vehículos que se sigue en España, que consiste en seguir la reglamentación del organismo de la ONU (WP.29) encargado (explicado en el capítulo dedicado al Marco Regulador), no sería estrictamente necesario justificar un impacto económico positivo en España. En España la falta de datos hace imposible dimensionar la importancia de esta problemática.

Al estar hablando de una regulación que se aplica en todos los países del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre vehículos la justificación de la adopción de esta nueva reglamentación en alguno de los países adheridos ya sería un gran argumento para su inclusión. En este caso Suecia, como miembro de la UE es un país adherido.

Para este análisis se usarán las estimaciones de 2017 de Wijnen *et al.* [55]. La estimación económica que se hace en este estudio está basada en:

- Costes médicos.
- Costes humanos.
- Daños materiales.
- Pérdida de producción asociada a la víctima.
- Costes administrativos (policía, bomberos, etc.).
- Otros (por ejemplo, funerarios).

8.1. Análisis coste/beneficio sobre los datos de Suecia

Para calcular el posible impacto económico que podría tener la inclusión de un sistema automático de detección y extinción de incendios en los turismos se usarán los datos del informe del año 2013, de Viklund *et al.* [15], el mismo que ya analizamos en el capítulo 4 "Análisis del problema". Supondremos que las cifras de muertes asociadas a incendios del periodo 1998-2008 se mantuvieron constantes el año 2015.

En este informe se concluye que 181 muertes en accidentes de tráfico estuvieron directa o indirectamente relacionadas con el incendio del vehículo en el periodo 1998-2008. Asumiremos que, aunque solo en 55 de ellas la muerte fue exclusivamente producida por el fuego, en los 181 fallecimientos la causa estuvo asociada a un incendio tras el accidente de tráfico.

Es decir, se produjeron **18,1 muertes al año** en ese periodo en accidentes de tráfico en el que el fuego estuvo involucrado. No se tienen datos de heridos en este tipo de accidentes.

Tabla 8.1. Costes, en euros, asociados a los accidentes de tráfico en algunos países europeos. [55]

country	Fatalities	Serious injuries	Slight injuries	Fatal crashes	Serious injury crashes	Slight injury crashes	PDO crashes
<i>Values based on value transfer in italics, other values are original values (EUR 2015, PPP corrected)</i>							
Serbia	2.532.142	268.339	25.681	2.861.308	310.532	34.854	8.435
Slovakia	2.204.722	337.459	34.201	2.520.159	390.891	46.565	11.724
Slovenia	2.020.686	250.529	28.879	2.305.474	292.669	42.068	6.998
Spain	2.158.661	280.981	17.498	2.441.823	320.491	23.851	3.960
Sweden	2.110.496	294.725	17.282	2.389.274	335.454	23.431	1.568
Switzerland	1.666.155	223.155	17.543	1.891.406	255.639	23.910	3.960
UK	2.293.243	263.673	28.413	2.592.437	305.087	38.694	3.516

En la Tabla 8.1. tenemos los datos del impacto económico que suponen los accidentes de tráfico en varios países entre ellos España y Suecia.

Como este sistema sería un sistema de seguridad pasiva, no evitaría ningún accidente solo intenta minimizar los daños tras el accidente cogeremos la columna de fallecidos (*Fatalities*). En Suecia el coste por fallecido en accidente de tráfico es de 2.110.496 € (TABLA 8.1.).

El coste que podría haber ahorrado un sistema automático de detección y extinción de incendios por año, en el periodo 1998-2008, sería de **38.199.977,60 €**. Esto suponiendo que no se produjo ningún herido de ningún tipo, lo cual elevaría la cifra en 294.725 € por herido grave (*Serious injuries*) y 17.282 € por herido leve (*Slight injuries*).

Tabla 8.2. Número de damnificados por accidente de tráfico en la UE según la severidad de este. [55]

		Fatalities	Serious injuries	Slight injuries
Fatal crash	Greece	1.12	0.19	0.47
	Norway	1.08	0.24	0.40
	average	1.10	0.22	0.43
Serious injury crash	Greece	-	1.11	0.43
	Norway		1.10	0.45
	average	-	1.11	0.44
Slight injury crash	Greece	-	-	1.33
	Norway	-	-	1.40
	average	-	-	1.36

En la Tabla 8.2. se puede ver el número de fallecidos, heridos graves y leves por accidente de tráfico, ya sea accidente mortal (*Fatal crash*), accidente con heridos graves (*Serious injury crash*) o accidente con heridos leves (*Slight injury crash*). En el estudio asumen que la media de Grecia y Noruega (únicos países que recogieron estos datos) representan un dato fiable de lo que ocurre en todos los países de la Unión Europea.

En el informe de 2013, Viklund *et al.* [15] indica que los 181 fallecidos se produjeron en 133 accidentes de tráfico. Así que se multiplican estos 133 accidentes por 0,22 y 0,43 para hallar el número de heridos graves y leves respectivamente que se produjeron en el periodo del estudio. Posteriormente se divide entre 10 (años del periodo).

Se obtienen **2,93 heridos graves y 5,72 heridos leves al año**. Estos datos se multiplican por el impacto económico de heridos graves (294.725 €) y leves (17.282 €), Tabla 8.1.

Tabla 8.3. Beneficios anuales de la implantación del sistema en Suecia

Víctimas	Costes asociados (€)	Número de víctimas anual	Coste total (€)
Fallecidos	2.110.496,00	18,1	38.199.977,60
Heridos graves	294.725,00	2,93	863.544,25
Heridos leves	17.282,00	5,72	98.853,04
TOTAL (€)			+39.162.374,89

Sumando los 962.397,29 € a los 38.199.977,60 € obtenemos un potencial de ahorro de **39.162.374,89 €**.

Tabla 8.4. Automóviles vendidos en Suecia (2018) [56]

Mes	Automóviles vendidos	Acumulado
Enero	23.691	23.691
Febrero	27.595	51.286
Marzo	37.389	88.675
Abril	34.410	123.085
Mayo	38.157	161.242
Junio	64.189	225.431
Julio	13.517	238.948
Agosto	25.534	264.482
Septiembre	19.716	284.198
Octubre	23.920	308.118
Noviembre	26.227	334.345
Diciembre	23.334	357.679

Ahora que ya se sabe el potencial de ahorro del sistema se debe cuantificar el coste de este sistema al año. Para ello se tendrán en cuenta el coste estimado del sistema, el coste estimado de mantenimiento por año y el número de automóviles vendidos en Suecia el año 2018.

El coste total por año del sistema calculado en el capítulo presupuesto fue de 420,03 € a esta cifra hay que sumarle el coste de mantenimiento anual estimado (42,35 €), esta cifra se multiplica por el número de automóviles en los que se instalaría al año (357.679 automóviles en 2018, Tabla 8.4. Esto nos da un resultado de **165.380.616,05 €** anuales de coste del sistema en Suecia.

Tabla 8.5. Costes de la implementación del sistema en Suecia

	Número de vehículos	Coste unitario (€)	Coste TOTAL (€)
Coste de mantenimiento	357.679	42,35	-15.144.705,65
Coste del sistema	357.679	420,03	-150.235.910,40
		TOTAL (€)	-165.380.616,05

El impacto económico total sería de -126.218.241,16 €.

Para conseguir un impacto 0 o positivo el coste económico del sistema debería ser de 106,80€.

8.2. Otras consideraciones

No hemos tenido en cuenta la reducción en daños materiales que este sistema podría suponer. Dentro de las estimaciones de coste por fallecido que hemos usado se tiene en cuenta este parámetro, pero es una media de todos los tipos de accidentes de tráfico. Los accidentes con incendio posterior del vehículo tienen un coste material mayor que otro tipo de accidentes y un sistema como el planteado podría reducir tanto el coste por daños en el vehículo, como el coste de la actuación de los bomberos y otros medios de emergencias.

En EE.UU. el coste directo en daños a la propiedad por incendios en vehículos de carretera superó los 1000 millones de dólares (1.027) turismos de media al año en el periodo 2002-2005. De estos 1027 millones de dólares 549 millones fueron causados por incendios en turismos (Tabla 4.1.).

Estos 549 millones de dólares no pertenecen solo a daños en incendios tras colisión o vuelco, sino que aquí si incluyen cualquier tipo de incendio en turismos.

Tabla 8.6. Incendios en vehículos de carretera en EE.UU. por factor que provocó el incendio. Medias anuales periodo 2002-2005. [16]

Factor Contributing to Ignition	Fires		Civilian Deaths		Civilian Injuries		Direct Property Damage (in Millions)	
Mechanical failure or malfunction	144,500	(50%)	51	(11%)	471	(33%)	\$418	(41%)
Leak or break	35,600	(12%)	35	(7%)	168	(12%)	\$98	(10%)
Backfire	13,100	(5%)	1	(0%)	87	(6%)	\$26	(3%)
Worn out	10,400	(4%)	0	(0%)	17	(1%)	\$16	(2%)
Unclassified mechanical failure or malfunction	83,800	(29%)	12	(2%)	194	(13%)	\$272	(27%)
Electrical failure or malfunction	67,800	(24%)	2	(0%)	191	(13%)	\$218	(21%)
Unspecified short circuit arc	19,000	(7%)	0	(0%)	65	(4%)	\$67	(7%)
Short circuit arc from defective, worn insulation	8,400	(3%)	0	(0%)	18	(1%)	\$21	(2%)
Short circuit arc from mechanical damage	4,400	(2%)	1	(0%)	20	(1%)	\$12	(1%)
Arc, spark from operating equipment	3,600	(1%)	0	(0%)	25	(2%)	\$10	(1%)
Arc from faulty contact or broken conductor	1,500	(1%)	0	(0%)	7	(0%)	\$5	(0%)
Unclassified electrical failure, malfunction	30,500	(11%)	1	(0%)	57	(4%)	\$103	(10%)
Misuse of material or product	31,400	(11%)	73	(16%)	401	(28%)	\$115	(11%)
Abandoned or discarded material or product	6,600	(2%)	1	(0%)	36	(2%)	\$24	(2%)
Heat source too close to combustible	6,400	(2%)	8	(2%)	75	(5%)	\$24	(2%)
Flammable liquid or gas spilled	6,100	(2%)	38	(8%)	93	(6%)	\$24	(2%)
Cutting, welding too close to combustible	1,900	(1%)	0	(0%)	17	(1%)	\$3	(0%)
Flammable liquid used to kindle fire	1,800	(1%)	7	(1%)	13	(1%)	\$11	(1%)
Improper fueling technique	1,500	(1%)	1	(0%)	52	(4%)	\$2	(0%)
Unclassified misuse of material or product	5,700	(2%)	13	(3%)	76	(5%)	\$20	(2%)
Operational deficiency	19,200	(7%)	284	(60%)	313	(22%)	\$129	(13%)
Collision or overturn	8,100	(3%)	268	(57%)	219	(15%)	\$87	(8%)
Equipment not being operated properly	2,300	(1%)	10	(2%)	36	(2%)	\$10	(1%)
Failure to clean	1,500	(1%)	0	(0%)	3	(0%)	\$2	(0%)
Unclassified operational deficiency	4,500	(2%)	2	(0%)	25	(2%)	\$16	(2%)
Fire spread or control	16,400	(6%)	29	(6%)	35	(2%)	\$104	(10%)
Exposure fire	14,900	(5%)	21	(4%)	24	(2%)	\$97	(9%)
Design, manufacturing or installation deficiency	2,800	(1%)	0	(0%)	21	(1%)	\$7	(1%)
Installation deficiency	1,800	(1%)	0	(0%)	14	(1%)	\$3	(0%)
Natural condition	1,500	(1%)	3	(1%)	3	(0%)	\$7	(1%)
Unclassified factor contributed to ignition	17,000	(6%)	59	(13%)	116	(8%)	\$90	(9%)

En la Tabla 8.6. se puede observar que el 8% (87 millones de dólares) fue el coste anual en el periodo 2002-2005 que tuvieron los accidentes de tráfico (*collision or overturn*) de vehículos de carretera (no solo turismos). Se estima que 43,92 de los 87 millones de dólares de daños materiales por incendios en turismos han sido causados por un accidente de tráfico.

En la Tabla 8.6. se observa que los factores que más contribuyeron a estos incendios fueron los relacionados con fallos y defectos mecánicos (*Mechanical failure or malfunction*) que provocaron el 41% de los incendios, y los fallos eléctricos (*Electrical failure or malfunction*).

Estos últimos datos nos plantean una posibilidad, y es que la inclusión de un accionamiento manual del sistema de extinción en el vehículo por parte del conductor podría evitar la propagación de incendios debido a causas ajenas a un accidente. Esto permitiría hacer el sistema más viable económicamente pues la reducción de costes por daños materiales y costes administrativos (policía, bomberos, aseguradoras, etc.) podría ser muy importante.

8.3. La importancia de la industria automovilística en España

Más allá del impacto económico que este sistema podría tener debido a su potencial para salvar vidas, la introducción de un sistema como el planteado podría tener un importante impacto a nivel industrial.

Si se supone la instalación de serie en todos los turismos fabricados en España esto supondría la instalación 2.215.599 sistemas en España en cifras de 2018, este fue el número de turismos fabricados en España. Esto beneficiaría a la importante industria de componentes de automoción que en España la forman 1000 empresas pertenecientes a 720 grupos empresariales que en 2018 facturaron 36.200 millones de euros, de los cuales el 4,2 % de la facturación se invirtió en I+D+i. La industria del automóvil supone el 10% del PIB y genera 300.000 puestos de trabajo directos y 2 millones de puestos indirectos [57].

Desde el punto de vista de las empresas que forman parte de la cadena de suministro de los fabricantes de turismos en España la introducción de este sistema en los turismos podría significar un aumento en su facturación.

9. CONCLUSIÓN

Tras el análisis de los datos disponibles sobre la problemática concreta de los incendios en turismos tras colisión o vuelco se puede estimar que la cifra de muertos en este tipo de accidentes podría estar en torno al 5% del total de muertos en accidentes de tráfico si tenemos como referencia las cifras de Suecia [15]. En Estados Unidos las cifras son menos claras y dependen de la fuente, pero en cifras de NHTSA el fuego pudo estar asociado al 3% de los accidentes mortales de tráfico del año 2005 [16].

Pese a estos datos la regulación sobre medidas de seguridad para evitar o minimizar los daños en este tipo de accidentes es casi inexistente en el caso de los turismos. Y, sin embargo, como se ha expuesto en este trabajo, existen informes que apuntan a la posibilidad de que esta problemática crezca los próximos años, no en número, pues las cifras de muertos en accidentes de tráfico no dejan de bajar, pero si en el porcentaje que representan, debido a la relación que algunos estudios apuntan entre la energía absorbida en el impacto por los vehículos (cada vez mayor) y probabilidad de que se produzca un incendio en el vehículo. Esto abre una paradoja, las personas que sobreviven en un accidente debido a la mejora en la capacidad de absorber impactos de los vehículos tienen más riesgo de fallecer por un incendio posterior.

El primer paso para atajar esta problemática ya se ha dado haciéndose obligatoria, en la U.E. y el resto de los países adheridos a la reglamentación de la CEPE, La inclusión de sistemas de detección y extinción de incendios en los motores de los autobuses (R-107).

En este trabajo se concluye que la inclusión de un sistema de detección y extinción de incendios es viable técnicamente. En la solución planteada, que no es la única posible, el resultado es un sistema que por peso y dimensiones podría instalarse en un turismo estándar.

Sin embargo, el impacto económico calculado en este trabajo ha sido negativo, pero los costes de un sistema similar producido en masa e instalado durante la fabricación se podrían reducir considerablemente. Además, la posibilidad de un accionamiento manual que el conductor pueda usar en caso de emergencia podría conseguir una importante reducción de costes por daños materiales. Viklund *et al.* [15] aportan la historia de una de las 181 víctimas fallecidas en la que la víctima no pudo huir del vehículo debido a su discapacidad, desde este punto de vista el accionamiento manual estaría aún más justificado.

Si bien un análisis cuantitativo no justificaría la inclusión de un sistema como el propuesto en los turismos, si existe actualmente un compromiso social creciente con la seguridad vial y con la reducción de muertes en carretera. Desde este punto de vista la inclusión del sistema propuesto si sería positiva.

Se pueden sacar tres conclusiones de este trabajo:

- La literatura existente alrededor de los incendios de vehículos muestra que esta es una problemática significativa que está infra dimensionada.

- La inclusión de un sistema de detección y extinción de incendios en los turismos es viable técnicamente.
- Con los datos disponibles actualmente no se puede concluir que la introducción de este sistema en los turismos tuviese un impacto económico positivo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] "El impacto de los lesionados por accidente de tráfico en la seguridad vial, análisis y evolución de una década (2006-2015)", Fundación línea directa, España, 2017. Disponible en: https://www.fundacionlineadirecta.org/investigacion/-/asset_publisher/e8FJpINeJYaa/content/el-impacto-de-los-lesionados-por-accidente-de-trafico-en-la-seguridad-vial-2006-2015-?inheritRedirect=true
- [2] "Ingenios mecánicos para la explotación del medio: bomba hidráulica romana". Museo Arqueológico Nacional. <http://www.man.es/man/dms/man/actividades/pieza-del-mes/2016/MAN--piezames-2016-03-bomba/MAN%20-piezames-2016-03-bomba.pdf> (acceso: 12 de junio de 2019)
- [3] "Rociadores automáticos- Parte I". Contra Incendio. <http://www.contraincendio.com.ve/rociadores-automaticos-parte-i/> (acceso: 12 de junio de 2019)
- [4] R. Fernández Becerra, "DESARROLLO DE LAS NORMAS CONTRA INCENDIOS EN ESPAÑA," *Cercha*, vol. 99, pp. 58-62, 2009. Disponible en: <http://www.arquitectura-tecnica.com/cercha/pdf/99.pdf>.
- [5] A. L. Tutson, D. E. Ferguson and M. Madden, "Fire Protection: Passenger Cabin," *AERO Magazine*, pp. 19-23, 2011. Disponible en: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011_q4/pdfs/AERO_2011q4.pdf.
- [6] A. Cardona. *Normas de extintores en vehículos transporte de mercancías*. Disponible en: <https://www.sertrans.es/logistica/normas-extintores-vehiculos-transporte-mercancias/> (acceso: 17 de marzo de 2019).
- [7] "Al menos 16 muertos en un accidente de autobús escolar en Italia". *El País*, 2017. Disponible en: https://elpais.com/internacional/2017/01/21/actualidad/1484999627_574879.html (acceso: 17 de marzo de 2019).
- [8] "2018 PRODUCTION STATISTICS". OICA. <http://www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/> (acceso: 12 de junio de 2019)
- [9] "Víctimas de incendio en España 2011", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2012. Disponible en: https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/informe-victimas-incendios-en-espana-2011_tcm1069-211527.pdf
- [10] "Víctimas de incendio en España 2012 y 2013", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2014. Disponible en: https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/informe-victimas-incendios-en-espana-2012-2013_tcm1069-211528.pdf

- [11] "Víctimas de incendio en España 2014", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2015. Disponible en:
https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/informe-victimas-incendios-en-espana-2014_tcm1069-211529.pdf
- [12] "Víctimas de incendio en España 2015", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2016. Disponible en:
https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/informe-victimas-incendios-espana-2015_tcm1069-388743.pdf
- [13] "Víctimas de incendio en España 2016", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2017. Disponible en:
https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1094554
- [14] "Víctimas de incendio en España 2017", Fundación MAPFRE y APTB, España, 2018. Disponible en:
https://www.aptb.org/images/Estudio_Victimas_de_incendios_en_Espana_en_2017-ilovepdf-compressed_1-ilovepdf-compressed.pdf
- [15] Å Viklund *et al*, "Car Crash Fatalities Associated With Fire in Sweden" *Traffic Injury Prevention*, vol. 14, (8), pp. 823-827, 2013. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24073770>. DOI: 10.1080/15389588.2013.777956.
- [16] M. Ahrens, "U.S. vehicle fire trends and patterns", NFPA, EEUU, 2008. Disponible en: <http://tkolb.net/FireReports/VehicleFires02to05.pdf>
- [17] "Highway Vehicle Fires (2014-2016)", Topical Fire Report Series, Volume 19, Issue 2, julio 2018. Disponible en:
<https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v19i2.pdf> .Acceso: 12 de junio de 2019.
- [18] R. Ochoterena, F. Roux, A. Sandinge, C. Nylander, M. Lindkvist, U. Björnstig, D. Sturk and M. Skrifvars, "Post-collision fires in road vehicles, a pre-study", SP Technical Research Institute of Sweden, Suecia, 2016.
- [19] Anonymous (2019-05-25). *La evolución del acero en la fabricación de carrocerías*. Available: <https://revistacentrozaragoza.com/la-evolucion-del-acero-en-la-fabricacion-de-carrocerias/> (acceso: 19 de marzo de 2019).
- [20] "Mercedes-Benz Introduces Innovative “FrontBass” Car-Audio System and Exclusive “Signature Sound” ". The absolute sound.
<http://www.theabsolutesound.com/articles/mercedes-benz-introduces-innovative-frontbass-car-audio-system-and-exclusive-signature-sound-demo-disc/>.
- [21] L. McDonald "US EV sales surpass 2% in 2018" CleanTechnica.
<https://cleantechnica.com/2019/01/12/us-ev-sales-surpass-2-for-2018-8-more-sales-charts/> (acceso: 12 de junio de 2019)

- [22] S. Davis "BMW i3 concept car relies on wireless feedback of individual battery cell performance". PowerElectronics. <https://www.powerelectronics.com/power-management/bmw-i3-concept-car-relies-wireless-feedback-individual-battery-cell-performance> (acceso: 12 de junio de 2019)
- [23] K. H. Digges *et al*, "Human survivability in motor vehicle fires", *Fire and Materials*, vol. 32, (4), pp. 249-258, 2008. . DOI: 10.1002/fam.964.
- [24] "Poliuretano". Tecnología de plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliuretano.html> (acceso: 15 de mayo de 2019)
- [25] A. Lönnemark and P. Blomqvist, "Emissions from an automobile fire" *Chemosphere*, vol. 62, (7), pp. 1043-1056, 2006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505006351>. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.05.002.
- [26] "Cianuro de hidrógeno (HCN)". Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. <http://www.prtr-es.es/Cianuro-de-hidrogeno-HCN,15672,11,2007.html> (acceso: 12 de junio de 2019)
- [27] A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot, G. Marlair. "Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle". 2. International Conference on Fires In Vehicles - FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States. pp.183-194. ffineris-00973680f
- [28] O. Willstrand, P. Karlsson and J. Brandt, "Fire detection & fire alarm systems in heavy vehicles", SP Technical Research Institute of Sweden, Suecia, Final report, 2016.
- [29] J.L. Villanueva Muñoz, "Métodos de extinción y agentes extintores", INSHT, España, NTP 99, 1984.
- [30] S. López Riera, "Instalaciones de protección de incendios", INSHT, España, FDN 19, 2015.
- [31] S. Torrado del Rey, "Sustitutos y alternativas para los halones de extinción", INSHT, España, NTP 666, 2004.
- [32] Á. Fernández de Castro Díaz, "Instalaciones de extinción automática con agentes extintores gaseosos", INSHT, España, NTP 975, 2013.
- [33] C. Varona Berenguer. "Polvo químico seco. Características, clasificación y aplicaciones". Ibermutuamur. Disponible en: http://www.seguridadysalud.ibermutuamur.es/IMG/pdf/Polvo_quimico_seco._Caracteristicas_clasificacion_y_aplicaciones.pdf (acceso: 1 de mayo de 2019).
- [34] "Polvo extintor". Diputación Foral de Vizcaya. Disponible en: http://www.bizkaia.eus/home2/Temas/DetalleTema.asp?Tem_Codigo=3753&idioma=C&A&dpto_biz=7&codpath_biz=7%7C153%7C1879%7C3733%7C3737%7C3752%7C3753 (acceso: 1 de mayo de 2019).
- [35] O. Willstrand, P. Karlsson and J. Brandt, "Fire detection & fire alarm systems in heavy vehicles", SP Technical Research Institute of Sweden, Suecia, WP1, 2015.

- [36] O. Willstrand, J. Brandt and R. Svensson, "Fire detection & fire alarm systems in heavy vehicles", SP Technical Research Institute of Sweden, Suecia, WP5, 2014.
- [37] J.L. Villanueva Muñoz, "Detección de incendios", INSHT, España, NTP 40, 1983.
- [38] C. Jalloul. "Cómo funciona un termopar". Blog de WIKI. <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmo-funciona-termopar/> (acceso: 14 de abril de 2019).
- [39] E. Turmo Sierra, "Detectores de humos", INSHT, España, NTP 215, 1988.
- [40] E. Turmo Sierra, "Detección automática de incendios. Detectores térmicos", INSHT, España, NTP 185, 1986.
- [41] P. Buckley. "Water Mist Standards". British Automatic Fire Sprinkler Association. Disponible en: <https://www.bafsa.org.uk/sprinkler-systems/watermist-standards/> (acceso: 17 de marzo de 2019).
- [42] "Fogtec Water Mist". Pyronova. Disponible en: <http://www.pyronova.com/products/extinguishing-system/water-mist/> (acceso: 17 de marzo de 2019).
- [43] J. C. Salgado. "Agua nebulizada UNE TS/14972". Tecnifuego. https://www.tecnifuego.org/recursos/arxius/20140305_1248TS_14972_SICUR2014.pdf (acceso: 13 de junio de 2019)
- [44] A. Eire. "Standards & Fire Testing for water mist fire protection systems". APICI. http://www.apici.es/wp-download/congreso/04-Antonio%20Eire_presentation.pdf (acceso: 13 de junio de 2019)
- [45] "Componentes del sistema HI-FOG®". Marioff.com. <https://www.marioff.com/es/proteccion-contraincendios/componentes-del-sistema-hi-fogr> (acceso: 20 de abril de 2019)
- [46] "FIA Standard for Plumbed-in Fire Extinguisher Systems in Competition Cars (Part no. 8046-002) ed. 1. ". FIA. <https://www.fia.com/file/71992/download?token=iYcjD60c> (acceso: 13 de junio de 2019)
- [47] "SP Method 4912 Method for testing the suppression performance of fire suppression systems intended for engine compartments of buses, coaches and other heavy vehicles". RISE Research Institute of Sweden. https://www.sp.se/sv/units/risecert/certification/product/Documents/Bilder%20och%20infobladd/13795_SP_Metod_4912.pdf (acceso: 13 de junio de 2019)
- [48] "Normativa Europea R107". Diseños y Montajes Mecánicos, S.L. <http://www.montajesmecanicos.com/r107/> (acceso: 9 de mayo de 2019)
- [49] "FOGMAKER® Operation and Installation Manual". prmp. <https://www.prmpt.org/wp-content/uploads/2013/07/8010-0022-Installation-manual-65-BAR-Rev-F-UL-Required-Revisions-Logo1.pdf#page=43&zoom=auto,-150,368> (acceso: 13 de junio de 2019)

- [50] L. Ruiz Otero, "Implementación de un sistema avanzado de protección contra incendios en edificios", Trabajo de fin de grado, Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/26404#preview>
- [51] "Industrial Hydraulic Spray Products, Catalog 75M". Spraying Systems Spain, S.L. Disponible en: https://www.spray.es/literature_pdfs/CAT75HYD_METRIC.pdf (acceso: 16 de mayo de 2019).
- [52] Catálogo cable sensor de temperatura CDL, Duran electrónica, Madrid, España. Disponible en: http://www.duranelectronica.com/docs/43_932_E-CDLCABLE-v02.pdf#page=5&zoom=auto,480,-176
- [53] "Ficha técnica cable detector EPC". Grupo Aguilera. Available: <http://aguilera.es/documentacion/Detecci%C3%B3n%20Cable/Fichas%20tecnicas/aec-epc-ficha-tecnica.pdf> (acceso: 18 de mayo de 2019).
- [54] "Descienden las ventas de camiones en 2018". Transporte al día. <https://www.transportealdia.es/descienden-ventas-camiones-espana-2018/> (acceso: 13 de junio de 2019)
- [55] Wijnen, W., Weijermars, W., Vanden Berghe, W., Schoeters, A., Bauer, R., Carnis, L., Elvik, R., Theofilatos, A., Filtness, A., Reed, S., Perez, C., and Martensen, H. (2017), Crash cost estimates for European countries, Deliverable 3.2 of the H2020 project SafetyCube.
- [56] "Registered vehicles January 2006–April 2019". SCB (Statistics Sweden). <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/transport-and-communications/road-traffic/registered-vehicles/> (acceso: 8 de mayo de 2019)
- [57] "Industria de automoción en España". ICEX-INVESTINSPAIN. <http://www.investinspain.org/invest/es/sectores/automocion/descripcion/index.html> (acceso: 12 de junio de 2019)